

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



Kristýna Měchurová

VYUŽITÍ SÍŤOVÝCH ALGORITMŮ V KRIZOVÉM MANAGEMENTU
ROUTING ALGORITHMS IN CRISIS MANAGEMENT

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Lukáš Brůha, Ph.D.

Praha, 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, DD.MM.RRRR

Podpis

Poděkování:

Ráda bych tímto poděkovala vedoucímu mé práce Mgr. Lukáši Brůhovi, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a odbornou pomoc při zpracování práce. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům firmy NET4GAS na oddělení Dokumentace soustavy za poskytnutá data a umožnění zpracování práce nad konkrétním problémem. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za podporu během celé doby studia.

Využití síťových algoritmů v krizovém managementu

Abstrakt

Práce se zabývá využitím síťových analýz v krizovém managementu. Konkrétně problémem držení pohotovostí pro kritická místa v podniku. Tato kritická místa jsou rozmístěna napříč celou republikou, stejně jako body pohotovosti, které tato kritická místa obsluhují. Práce se zabývá minimalizováním množiny předem zadaných bodů pohotovosti tak, aby zůstala pokrytá všechna kritická místa. Součástí práce je implementace nástroje nad vybraným GIS. Nástroj má určit, který bod pohotovosti (již z optimalizované množiny bodů pohotovosti) má být poslán na výjezd na dané kritické místo, aby se co nejméně narušilo pokrytí ostatních kritických bodů na síti. Nástroj poskytuje také grafický výstup.

Klíčová slova: síťová analýza, lokace – alokace, GIS

Routing algorithms in crisis management

Abstract

The work describes network analysis usage in the crisis management, concretely, holding an emergency for operation company's critical places. Those critical places are stationed across the whole republic, as well as emergency points that they operate. The work also describes how to minimize a set of pre-entered emergency points in a way that will also keep all the critical points covered. The next part of the work is an implementation of a tool above chosen GIS, which serves to recognize, which emergency point (of already optimized set of emergency points) is to be sent to where critical point is while minimizing the disruption of other critical points in the network. The tool also contains graphical output.

Keywords: Graphical analysis, location – allocation, GIS

Obsah

1. Úvod	7
2. Cíle práce.....	8
3. Uvedení do problematiky	9
3.1 Teorie grafů	9
3.2. Síťové analýzy.....	10
3.3. Vybrané grafové algoritmy	11
3.4. Algoritmy použité v programu ArcGIS	13
3.5. Tvorba datového modelu sítě	13
3.6. Srovnání síťových analýz v GIS softwarech	14
3.6.1. Síťové analýzy v open-source programech	15
3.6.2. Síťové analýzy v prostředí programu ArcGIS	17
3.7. Možnost tvorby skriptů v programovacím jazyce Python	20
4. Řešení konkrétního problému	21
4.1. Důvody a pravidla vzniku a fungování pohotovostní služby	21
4.2. Současný stav držení pohotovostí	22
5. Data	23
6. Metodika.....	24
6.1. Fáze I. – Příprava dat.....	25
6.2. Fáze II. – Optimalizace adresních míst	29
6.3. Fáze III. – Vytvoření funkce: <i>Analysis of the best coverage</i>	32
6.3.1 Popis řešení „rozhodovacího pravidla“	34
6.3.2. Implementace	35
6.4. Fáze IV. – Grafický výstup	37
6.5. Fáze V. – Vytvoření Toolboxu.....	38
7. Postup práce při vyhlášení pohotovosti.....	42
8. Diskuze a závěr	43
Seznam zdrojů.....	45
Seznam příloh.....	48

Seznam obrázků, tabulek a vývojových grafů

Obrázky

Obrázek č. 1: Provedení Dijkstrova algoritmu	12
Obrázek č. 2: Vybrané faktory ovlivňující průměrnou rychlost na silnicích	14
Obrázek č. 3: Nastavení parametrů modulu silničního grafu	15
Obrázek č. 4: Lokace modulů síťových analýz	16
Obrázek č. 5: Velikost vektorů	27
Obrázek č. 6: Výsledek kontoly topologie	28
Obrázek č. 7: Grafický výsledek analýzy Location - Allocation	30
Obrázek č. 8: Výsledek analýzy Closest Facility, z nepokrytého kritického místa do třech nejbližších adresních míst.	31
Obrázek č. 9: Uživatelské okno funkce Analysis of the best coverage	41
Obrázek č. 10: Vizualizace výsledku funkce Analysis of the best coverage v ArcMapu	42

Tabulky

Tabulka č. 1: Hodnoty průměrných rychlostí v modelech dostupnosti	26
Tabulka č. 2: Přiřazení hodnot průměrných rychlostí v modelu dostupnosti	26
Tabulka č. 3: Přiřazení Layer Name a Data Type parametrům dle pořadí	40
Tabulka č. 4: Srovnání časových dojezdových dob	43

Vývojové Grafy

Vývojový graf č. 1: Fáze bakalářské práce	24
Vývojový graf č. 2: Popis první fáze	25
Vývojový graf č. 3: Popis druhé fáze	29
Vývojový graf č. 4: Postup řešení při tvorbě skriptu třetí fáze	33
Vývojový graf č. 5: Popis čtvrté fáze	37
Vývojový graf č. 6: Popis páté fáze	38

1. Úvod

Krizovou situací v kontextu této práce je myšlena taková mimořádná událost v dotčené instituci, která může výrazně ovlivnit její existenci. Může jít o neutěšenou ekonomickou situaci či o závažné havárie, které ovlivní chod podniku, jenž úzce souvisí s ekonomickou situací. S havárií jsou spojeny náklady na opravu problému. Havárií je provoz značně omezen a podniku se zvětšují škody způsobené ušlým ziskem.

K předcházení takovýmto problémům vznikají v podnicích pohotovostní služby a služby údržby. Údržba se stará o minimalizování rizika vzniku havárie. Pokud i přesto havárie nastane, je to právě pohotovostní služba, která se stará o minimalizování škod. Pohotovostní služba také do značné míry zajišťuje zabezpečení místa havárie. Závažnost havárie závisí na míře ohrožení, zda je ohrožen pouze daný objekt, zda daný objekt může ovlivnit životní prostředí dané lokality, či může-li havárie ohrozit lidské životy.

Existují objekty, které jsou na vznik havárie citlivé a jejichž porucha může způsobit závažné problémy, jež jsou popsány v předchozím odstavci. Taková místa nazýváme kritická. Můžou se nacházet přímo v podniku, nebo pokud podnik zaštituje vedení nějaké sítě (telefonní, elektrické, plynárenské), mohou se tato místa vyskytovat kdekoli na síti mimo podnik.

Taková místa je nutné neustále monitorovat a je potřeba určit mezní čas v případě vyhlášení havárie, za který musí na toto místo dorazit pohotovostní služba.

2. Cíle práce

Hlavním cílem je centralizovat a optimalizovat plánování a provoz pohotovostí s ohledem na síť. V důsledku tak práce umožní snížit počet pracovníků či určitých míst držících pohotovost za účelem zefektivnění a snížení nákladů. Dále se práce zabývá problémem, jakého pracovníka, či z jakého místa poslat pracovníka na výjezd do kritického bodu tak, aby se co nejméně narušilo pokrytí kritických míst pohotovostní službou.

Cíle lze definovat následovně:

1. Rešerše existujících metodických přístupů k problémům typu location – allocation a jejich implementace v existujících softwarových nástrojích.
2. Příprava dat.
3. Optimalizace adresních míst.
4. Návrh a implementace pravidla, které bude rozhodovat, jaký bod bude vyslán na dané místo tak, aby se co nejméně narušilo pokrytí sítě.
5. Grafický výstup.
6. Vytvoření *Toolboxu*.

3. Uvedení do problematiky

Přiřazování spotřebitelů / obyvatel ke zdrojům (alokace) a hledání optimální lokality pro nějakou službu či zařízení (lokace), je předmětem mnoha studií. Spojený problém: lokace – alokace hledá nejlepší lokalitu zařízení či služby z určité předem definované množiny bodů, tak aby byla zároveň plně uspokojena poptávka. Tyto problémy se vyskytují jak ve veřejném sektoru (ideální umístění nemocnice, poštovní stanice atd.), tak i v sektoru soukromém (lokace průmyslových zařízení, bank, maloobchodů atd.). Pro řešení těchto problémů byly navrženy četné algoritmy, které zahrnují: simulované žíhání, P – medián, genetický algoritmus atd. Použití algoritmů záleží na přesné definici problému. Lokace – alokace spadá do problémů síťových analýz.

Problém lokace – alokace je řešen v případové studii (Farahani, Asgari 2007, in Farahani, Hekmantfar 2009). Kde je hledáno vhodné umístění distribučních logistických center vojenského logistického systému. S podmínkami minimalizování distribučních center, minimalizování nákladů na výstavbu centra. Další studie (Alba, Dominique 2006, in Farahani, Hekmantfar 2009) řešila problém umístění deseti poštovních center z výběru 200 potenciálních poštovních center, tak aby tato centra co nejlépe pokryla sledovanou lokalitu. Problém lokace – alokace řeší také článek (Hala, Hrabík, Kuba, Skrášek 2009), který se zabývá optimalizací sítě výjezdových míst Zdravotnické záchranné služby Zlínského kraje.

Z článků vyplývá, že problém lokace – alokace má mnoho podob a tyto podoby nabízejí odlišné druhy řešení a výsledků.

3.1 Teorie grafů

Síťové analýzy vycházejí především z teorie grafů. Grafy mohou představovat zjednodušení reálného světa, kde je daný problém znázorněn pomocí bodů – vrcholů grafu, a čar – hran grafu, spojujících vrcholy grafu.

Obecná matematická definice orientovaného grafu G je uspořádaná trojice (V, E, ε) , kde V je konečná množina vrcholů grafu G . E je množina hran grafu G a ε je zobrazení incidence, tedy vzájemné polohy dvou geometrických tvarů majících společnou část. Matematicky lze incidenci vyjádřit $\varepsilon: E \rightarrow V^2$. Orientovaný graf je takový graf, jehož všechny hrany mají definované počáteční a koncové vrcholy. Pokud nastane situace, že je orientace hran nepodstatná, tedy že nezáleží na pořadí vrcholů v uspořádaných dvojicích, pak je takový graf značen jako neorientovaný (Demel 1988).

Sledem je v teorii grafů chápána posloupnost vrcholů, tedy pro každý vrchol v_i a následující vrchol v_{i+1} existuje hrana. Sled, ve kterém se nachází každá hrana pouze jednou, se nazývá tah. Pokud se ve sledu nachází každý vrchol pouze jednou, jde o cestu. Sled končící ve stejném vrcholu, ve kterém začal, se nazývá cyklus či smyčka (Demel 1988). Vzdálenost neboli metrika je v grafu chápána jako délka nejkratší cesty mezi dvěma vrcholy (Nešetřil, Matoušek 1996).

Strom je v teorii grafů chápán jako souvislý graf neobsahující kružnici. Kostra daného grafu je strom, který je jeho podgrafem a obsahuje všechny vrcholy daného grafu (Nešetřil, Matoušek 1996).

K hranám a vrcholům lze přiřadit číselné či jiné hodnoty, které reprezentují určité skutečnosti. V závislosti na přiřazení hodnot vrcholům či hranám nazýváme graf vrcholově či hranově ohodnocený (Nečas 1987). Halda je v teorii grafů datová struktura sloužící k rychlému hledání minima (Černý 2010).

Průchod grafu znázorňuje postup zjišťování dostupnosti uzlu či uzlů vzhledem k jinému uzlu či uzlům v grafu. Aby byl průchod grafu efektivní, musí splňovat tyto podmínky: průchod hranou je možný pouze jednou (jednou tam a jednou zpět), hranou je možné se vrátit, až když z vrcholu nevede další cesta a hranou vedoucí do navštíveného vrcholu je nutné se ihned vrátit (Černý 2010). Existují dvě základní implementace průchodu grafu: průchod grafu do šířky (BFS z anglického *Breadth First Search*) a průchod grafu do hloubky (DFS z anglického *Depth First Search*).

Výsledkem operace BSF je strom hledání do šířky. Obsahuje informace o cestě s nejmenším počtem uzlů a zároveň detekuje všechny uzly dosažitelné z výchozího uzlu. Z BSF vychází *Dijkstrův Algoritmus*.

Výsledkem operace DSF je naleznutí všech vrcholů, do kterých vede z počátečního vrcholu cesta. Jde tedy o postupné procházení všech možných cest grafem (Bayer 2008).

3.2. Síťové analýzy

Síť je základem síťových analýz. Je to: „konečný souvislý, orientovaný, acyklický, hranově nebo uzlově ohodnocený graf, v němž existuje jeden počáteční uzel (nevstupuje do něj žádná hrana) a jeden uzel koncový (žádná hrana z něj nevystupuje)“ (Fiebelová 2006). Uzly mohou charakterizovat konec cesty či křižovatky. Hrany cestu, po které putují lidé, zboží atd. (Valchařová 2012).

Síťové analýzy jsou prováděné na síti, jejichž komponentami jsou: zdroje (materiály, přesouvající se po síti), lokace zdroje a soustava podmínek definujících propojení sítě mezi uzly (Hýbner 2013).

3.3. Vybrané grafové algoritmy

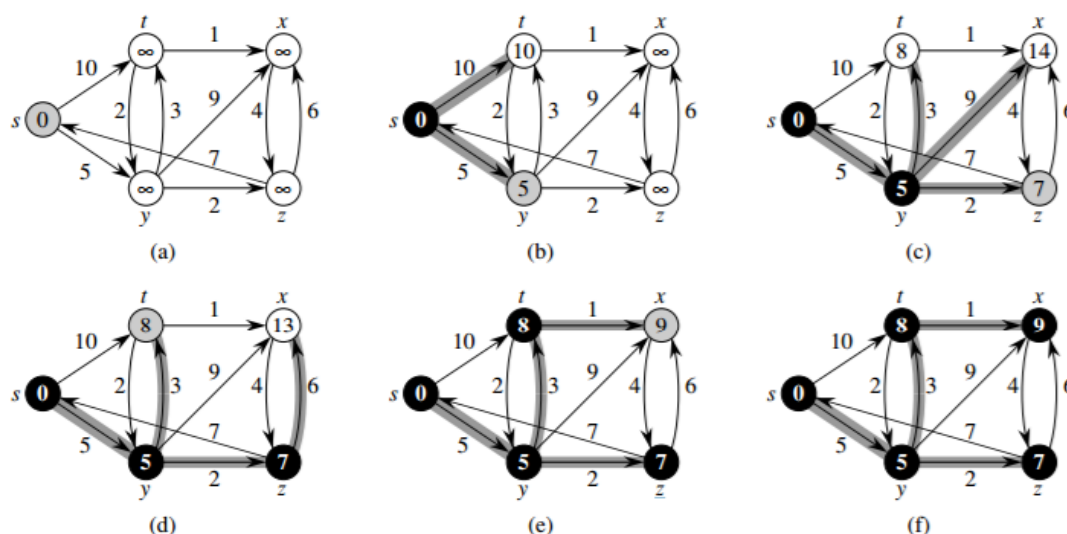
Pro vyřešení daného problému týkajícího se síťových analýz se používají grafové algoritmy. Je jich značné množství a jejich vhodnost použití záleží na zadaném problému.

Hledání nejkratší cesty je jednou ze základních algoritmických úloh v teorii grafů. Délkou cesty v neohodnoceném grafu je počet hran na cestě. Vzdálenost mezi vrcholy v a w je délka nejkratší cesty mezi v a w . Pokud cesta mezi v a w neexistuje, je vzdálenost nekonečná. Definice této vzdálenosti odpovídá vzdálenosti v ohodnocení grafu, kde má každá hrana hodnotu jedna (Černý 2010).

Dijkstrův algoritmus dokáže najít nejkratší cestu na ohodnoceném orientovaném grafu. Jeho správnost je založena na předpokladu, že ohodnocení hran je nezáporné (Cormen a kol. 2001). Zjednodušeně lze říci, že algoritmus rozdělí hrany podle vah na jednotkové, tzn. hrana s váhou 10 bude mít deset jednotek, hrana s váhou 20 bude mít jednotek dvacet. Vznikne tak graf rozčleněný na jednotkové úseky. Rychlost pohybu po hraně závisí na počtu překonání jednotek. Graficky je princip Dijkstrova algoritmu popsán na obrázku č. 1.

Máme-li prázdnou množinu T , vzdálenost do startu $d = 0$ a odhady vzdáleností do ostatních vrcholů jsou nekonečno. Nyní nalezneme nejkratší cestu do vrcholu v tak, že budeme odebírat vrcholy s minimálním d a prohlašovat je za trvalé. Během prohlašování je však nutné aktualizovat odhady d u ostatních vrcholů w , protože jsme se z nich mohli dostat zkratkou z nově vyhlášeného trvalého vrcholu v . V každé iteraci je jeden vrchol prohlášen za trvalý. Počet vrcholů a hran je konečný, to znamená, že algoritmus je konečný také (Černý 2010).

Obrázek č. 1: Provedení Dijkstrova algoritmu



Zdroj: Cormen a kol. 2001

Dalším problémem řešeným v této práci je problém lokace – alokace. Ten může řešit problém s umístěním zařízení. To znamená, že vzhledem k N navrhovaným zařízením máme M požadovaných bodů s určitou vahou. Vytvoříme podmnožinu zařízení P , jejíž součet vážených vzdáleností od každého M je minimalizován.

Jde v podstatě o hledání územního mediánu. Hledá se tedy bod, jehož součet euklidovské vzdálenosti do daných bodů je minimální. Těmto bodům lze také přidat váhu, potom hledáme vzdálenost s minimální cenou (Valchařová 2011). Lokační teorie má dva hlavní směry, a to: spojitý lokační problém a diskretní lokační problém (Burešová 2009).

U spojitých problémů je nutné znát nejen polohu dvou bodů, ale i jejich vzdálenostní míru. Jsou řešeny prostorovým vztahem mezi body (zákazníci, budovy) a obslužnými centry. Obslužná centra mají definovaný rádius či prahovou vzdálenost. Pokud se daný bod nachází uvnitř tohoto centra, je považován za pokrytý (Valchařová 2011).

Diskretní problémy jsou založeny na konečném počtu lokačních a alokačních míst (Valchařová 2011).

Nejpoužívanější je analýza lokačních problému na síti. Ta vhodně interpretuje oba zmíněné směry.

3.4. Algoritmy použité v programu ArcGIS

Většina funkcí síťových analýz v programu ArcGIS (jmenovitě funkce *New Route*, *New Closest Facility* a *New OD Cost Matrix*), se zakládá na Dijkstrově algoritmu, který podléhá dalším modifikacím a úpravám. Tyto úpravy jsou však součástí „know-how“ daného software, a proto nejsou přesné modifikace algoritmů nikde dostupné.

K využití algoritmu v rovině údajů o přepravě v reálném světě byl algoritmus v programu ArcGIS upraven tak, aby co nejvíce respektoval uživatelská nastavení. Těmi mohou být: jednostranná omezení, omezení obratu či bariéry a omezení na silnici. Navíc je algoritmus schopen modelovat vstupní místa – lokace kdekoli podél hrany, ne pouze na vrcholech grafu (Esri 2016a).

Další funkcí je *location – allocation*, ta používá algoritmus, který začíná generováním matice mezi množinou bodů M (poptávkové body) a N (kandidátní zařízení). Následně je vytvořena upravená verze matice zahrnující váhu (náklady) procesem Hillsmanovy úpravy. Proces umožňuje stejné řešení heuristikou k vyřešení variací rozdílných typů problému. Je vygenerována množina polonáhodných řešení a je použita heuristika nahrazování vrcholů Teiz a Bart, díky které se vytvoří množina dobrých řešení. Meta-heuristická kombinace této skupiny potom kombinuje skupinu dobrých řešení a vytvoří výsledné ještě lepší řešení. Když už není možné žádné zlepšení, meta-heuristika vrací nejlepší nalezené řešení. Kombinace heuristik a upravené matice nabízí rychlé řešení přibližující se optimálním výsledkům (Esri 2016a). Hillsmanova úprava je lineární model sloužící k přizpůsobení vzdálených koeficientů problému p – mediánu (Lorena, Pereira 2002). Problém p – mediánu řeší vztah množin M a N tak, aby byl součet nejkratší vzdálenost M k N minimalizován.

3.5. Tvorba datového modelu sítě

Základem pro práci se síťovými analýzami je model dostupnosti. Je popsán datovou sadou digitálních vektorových dat, která obsahuje vrcholy, hrany, konektivitu a další zvolené atributy jako je průměrná rychlost či parametr odbočování. Díky modelu dostupnosti je pak umožněno softwaru provádět různé analýzy nad takto zpracovanou sítí (Hudeček, Churaň, Kufner 2011).

Základní jednotkou v modelu dostupnosti je cena, za kterou je překonán určitý úsek sítě, ta může být reprezentována vzdáleností či časem. Podle (Tolley, Turton 1995, cit in Hudeček 2008, s. 140) je dnešní funkcí cesty čas, nikoliv vzdálenost. Časová dostupnost je tedy ve většině modelů zohledňována nejvíce.

Model časové dostupnosti obsahuje několik faktorů ovlivňujících průměrnou rychlost na síti, viz obr. č. 2. Z nichž typ silnice je faktorem nejpodstatnějším (Hudeček 2008).

Obrázek č. 2: Vybrané faktory ovlivňující průměrnou rychlost na silnicích



Zdroj: Hudeček (2008)

Dále může průměrnou rychlost ovlivňovat zakřivení neboli klikatost silniční sítě. Tu lze vypočítat pomocí *Indexu křivosti (Curvature Index)*:

$$CurvatureIndex = \frac{|XY|}{Shape\ Length\ (s)}$$

Výsledný index křivosti pak vstupuje do výpočtu času, za který vozidlo urazí daný úsek. Tak, že snižuje atribut rychlosti:

$$cas\ (t) = \frac{Shape\ Length\ (s)}{Rychlost\ (v) * CurvatureIndex}$$

3.6. Srovnání síťových analýz v GIS softwarech

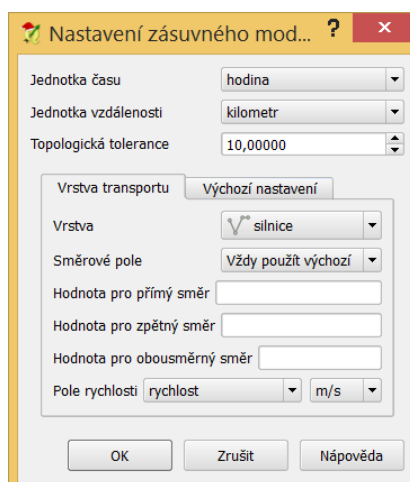
Možnosti řešení síťových analýz nabízí hned několik GIS software. Tyto služby nabízí jak placené, tak i open-source programy. Jmenovitě ArcGIS, Quantum GIS (QGIS), GRASS GIS a další. V následujících kapitolách jsou shrnuty možnosti, které nabízejí GIS software, které jsou se síťovými analýzami nejdále.

3.6.1. Síťové analýzy v open-source programech

QGIS je v současné době asi nejrozšířenější open-source GIS software. Nabízí přívětivé uživatelské rozhraní, které je velmi intuitivní a v mnoha případech se jeho funkcionality vyrovnává placeným softwarům. Funkcí, týkajících se síťových analýz nabízí málo. Největší šíři funkcí nabízí v open source programech GRASS GIS, jeho nevýhodou je však nepříliš přívětivé uživatelské rozhraní. Jakousi nadstavbou obou programů je QGIS with GRASS. Tato nadstavba zpřístupňuje analytické a další funkce GRASS GISu v uživatelsky přijatelnějším rozhraní QGISu.

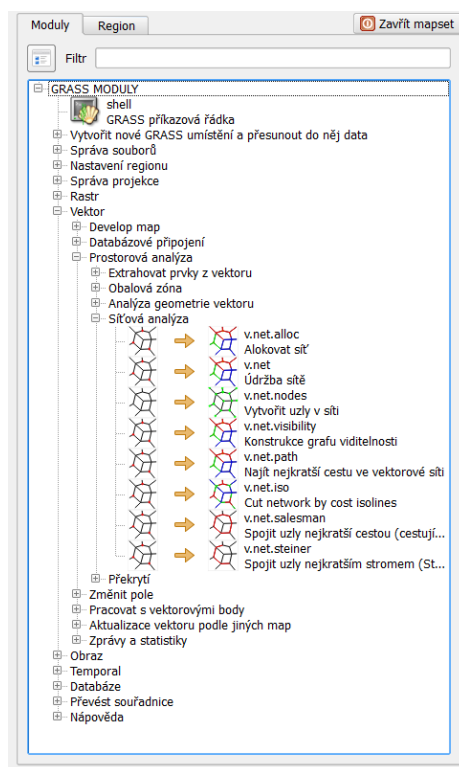
V QGIS je možné po nahrání či vytvoření vhodných dat ihned použít defaultně instalovaný zásuvný modul *silničního grafu*. Ten slouží k vypočtení vzdálenosti v podobě délky či času mezi dvěma nastavenými body. V záložce *Vektor -> Road Graph -> Settings* je třeba nastavit několik parametrů, viz obrázek č. 3. V nastavení je možné rozlišovat směr linie tam a zpět. Modul totiž obsahuje parametry, které dovolují definovat ceny pro pohyb mezi jednotlivými směry. Zakázané směry jsou prezentovány negativními cenami, (např. jednosměrné komunikace atd.). Toto nastavení je vhodné pro pokročilejší uživatele a je zde také nutné podrobnější předzpracování dat.

Obrázek č. 3: Nastavení parametrů modulu silničního grafu



Pro práci s moduly GRASSu v programu QGIS with GRASS je potřeba založit mapset. V mapsetu jsou uspořádány jednotlivé vrstvy analýzy. Je potřeba zapnout zásuvné moduly. Dále už k modulům samotným. Těch program nabízí hned několik, viz obrázek č. 4.

Obrázek č. 4: Lokace modulů síťových analýz



Před prováděním analýzy nad předem definovanými body je nutné nejprve tyto body spojit se sítí silnic. To se provede pomocí modulu *údržba sítě* (*v.net*) pomocí operace *connect still unconnected points to vector network by inserting new line(s)*. Dále modul nabízí operaci vytvoření bodu na každém konci linie: *New point is placed on each node (line end) if doesn't exist*. A operaci: *new line is create from start point to end point*.

Modul *alokace sítě* (*v.net.alloc*) nabízí rozdělení sítě do spádových oblastí. Program nabízí ohodnocení sítě pro jednotlivé uzly i hrany. Nevýhodou je nemožnost přidání mezního času, síť je celá rozčleněna na jednotlivé podsítě.

Modul *vytvořit uzly v síti* (*v.net.nodes*). Vytvoří bod každému uzlu dané sítě.

Konstrukce grafu viditelnosti (*v.net.visibility*) zajišťuje viditelnost daných prvků na síti. V jiném slova smyslu propojení prvků se sítí. Funkce zařídí připojení bodu na konec nejbližší linie.

Modul *Najít nejkratší cestu ve vektorové síti* (*v.net.path*), určuje nejkratší cestu mezi dvěma body. Je to obdoba modulu *silničního grafu*, který se nachází defaultně v programu QGIS.

Modul *Cut network by cost isolines (v.net.iso)* slouží k vytvoření izolinií předem definované vzdálenosti, těchto vzdáleností je možné zadat více, mezní hodnoty nemohou být pro jiné body rozdílné. Modul neumožňuje zadat jednomu bodu mezní čas např. 10 a 15 min a druhému 30 a 40 min.

Dále jsou zde moduly, které nabízejí: *Spojit uzly nejkratší cestou (v.net.salesman)* a *Spojit uzly nejkratším stromem (v.net.steiner)*, jde o nalezení optimálního spojení mezi uzly v síti.

Modul *Nejkratší cesta pro skupinu prvků (v.net.distance)* nalezne nejkratší cestu z jedné množiny bodů do druhé množiny bodů. Možným úkolem této funkce může být nalezení nejrychlejší cesty k nejbližší nemocnici ze všech škol v dané lokalitě. Modul *Nejkratší cesta pro všechny dvojice (v.net.allpairs)* umožňuje vytvoření matice nejkratších dojezdových vzdáleností či dob mezi dvěma vstupními množinami bodů.

Všechny zmíněné moduly jsou vhodné spíše pro základní analýzy. Uzlům a hranám nelze přiřadit více hodnot a výsledné výstupy neposkytují možnost dalších analýz. Nelze například vytvořit polygon či isolinie jako výstup z modulu (*v.net.iso*). Nelze rozšířit analýzu přidáním dalších parametrů.

3.6.2. Síťové analýzy v prostředí programu ArcGIS

Analýzy lze provádět v programu *ArcGIS* za pomoci rozšíření, pod názvem *Network Analyst*. Toto rozšíření obsahuje řadu funkcí, které budou následně blíže popsány. Před spuštěním samotných funkcí je však nutné připravit vhodnou síť, nad kterou budou analýzy probíhat, viz kapitola: *Tvorba datového modelu sítě*, a z této sítě poté vytvořit *Network Dataset*.

Network Analyst mimo jiné podporuje průjezdnost křižovatek z různých směrů, dynamické bariéry a rozsáhlé sítě. Nabízí možnost ohodnocení sítě a vstupů pomocí zdokonaleného popisného modelu (Jiravová 2005).

Funkce *Network Analyst* jsou:

- *New Route*
- *New Service Area*
- *New Closest facility*
- *New OD Cost Matrix*
- *New Vehicle Routing Problem*
- *New Location Allocation*

New route umožňuje hledání trasy z místa A do místa B. Poskytuje možnost navolit si počet průjezdných bodů. Výsledek nemusí obsahovat pouze datový výstup, ale také ulice či čísla silnic, přes které je nutné dojet do definovaného bodu (Kuttelwascher 2012). Tato funkce dokáže vyřešit problém obchodního cestujícího.

New service Area vytváří zóny dojezdových vzdáleností okolo jednoho či více vstupních bodů. V závislosti na zadané vstupní dojezdové hodnotě a parametrech sítě.

New Closest Facility hledá ze zadaného bodu nejbližší bod z množiny dojezdových bodů.

Funkce *New OD Cost Matrix* vytvoří matici, která podle vstupních parametrů informuje o časových dostupnostech či vzdálenostech mezi jednotlivými vstupními body.

Předpokládaným vstupem funkce *New Vehicle Routing Problem* jsou tři rozdílné množiny, např. množina zákazníků, skladů a vozidel. Příkladem problému, který funkce řeší, může být rozvoz zboží ze skladů zákazníkům za pomoci vozidel v předem definovaném čase.

New Location Allocation je funkce, která ze vstupních dvou množin, z nich jedna je stálá (A) a druhá by měla být optimalizována (B), najde ideální řešení tak, aby zmenšila počet bodů v množině (B), ale zároveň neohrozila pokrytí vstupní množiny (A) množinou optimalizovaných bodů.

Všechny funkce nabízejí celou řadu rozšíření, aby co nejlépe vyřešily zadaný problém. Tato práce využívá funkce: *New Service Area*, *New Closest Facility*, *New OD Cost Matrix*, *New Location Allocation*. Pro pochopení praktické části je nutné porozumět i těmto rozšířením.

New Service Area

Umožňuje přiřadit vstupní vrstvě bodů hned několik volitelných parametrů. Je možné přiřadit identifikaci, tedy název jednotlivým bodům. Parametr *Attr [impedance]* udává dobu zdržení před výjezdem na cestu, čas potřebný k tomu, aby byl bod schopný vyrazit na výjezd. *Break [Impedance]* umožňuje zvolit každému bodu jiný parametr mezních dob pokrytí. *CurbApproach* určuje směr, ze kterého může vozidlo vyrazit z objektu. Dále se volí *SearchTolerance*, to je mezní hodnota vzdálenosti, pro kterou jsou ještě dohledatelné body vstupující do analýzy, které neleží na síti.

Nastavení samotné analýzy umožňuje volbu parametru *Impedance*, dále mezní hodnoty *Default Breaks*, pokud již není uvedena v parametrech vstupní bodové vrstvy. Pokud má uživatel dostupná data o aktuální dopravní situaci, může v nastavení po nahrání dat zvolit den, ve kterém bude analýza probíhat. V záložce *Polygon Generation* je také možnost zvolit si druh překrývání a stupeň generalizace výstupních polygonů.

Výstupem je nová polygonová či liniová vrstva, zobrazující mezní vzdálenost dojezdu do daného místa.

New Closest facility

Vstupem jsou dvě bodové vrstvy. Vrstva výjezdu *Incidents* a vrstva dojezdu *Facilities*. *Facilities* předpokládá množinu bodů, ze kterých bude vybrán takový, který splňuje podmínku nejkratší či nejrychlejší impedance. Volba možných parametrů vstupních vrstev nabízí stejné možnosti jako u *Service Area*. Parametr *Break_[Impedance]* je nahrazen *Cutoff_[impedance]*. Značí mezní dobu dojezdu, pokud je i nejkratší dojezdová doba daného bodu delší než ta mezní, bod nebude do analýzy zahrnut. To platí jak pro vrstvu *Incidents*, tak i *Facilities*. Dalším možným volitelným parametrem je *TargetFacilityCount*, ten je volen u vrstvy *Incidents* a udává počet bodů z vrstvy *Facility*, které by měly nejrychleji dojet do daného bodu.

Nastavení samotné analýzy umožňuje volbu *Impedance*. Dále volbu parametrů *Default Cutoff Value* a *Facilities To Find* pokud jsou tyto hodnoty zadány v nastavení samotné analýzy a ne ve vstupních vrstvách, jsou tyto atributy pro všechny body jednotné.

Výstupem je liniová vrstva, která přesně popisuje nejkratší trasu/y do nejbližších bodů, v atributové tabulce lze naléznout odhadovaný čas, za který by měl daný bod dorazit na konkrétní místo.

New OD Cost Matrix

Funkce očekává na vstupu dvě vrstvy *Origins* a *Destinations*, mezi kterými bude probíhat výpočet matice. Do obou vstupů však může být nahrána jedna vrstva.

Volitelné parametry vstupních vrstev jsou stejné jako u funkce *Closest Facility*. Parametr *Cutoff_[impedance]* je však možný zadat pouze vrstvě *Origin*.

Výstupem je liniová vrstva zobrazující nejkratší vzdálenosti mezi jednotlivými body včetně předpokládaného času dojezdu.

New Location Allocation

Vstupem funkce jsou dvě bodové vrstvy *Facilities* a *Demand Points*. Vstupní vrstvy mají mnoho volitelných parametrů. U *Facilities* je to *Name*, *FacilityType* – zde je možnost výběru, jestli je daný bod považován za kandidátský, soutěžní, požadovaný či vybraný. *Weight* – to je váha kterou může být ohodnocený každý vstupní bod, v závislosti na tom, jak je jeho ponechání ve výběru důležité, *Capacity* a *CurbApproach*. Vrstva *Demand Points* obsahuje možné parametry *Name*, *Weight*, *GroupName*, *ImpedanceTransformation*, *ImpedanceParameter*, *CurbApproach*, *Cutoff_Lenght*, *Cutoff_cas*.

Parametry samotné funkce nabízí volbu hned několika druhů analýz, a to: minimalizace impedance, maximalizování pokrytí, maximalizování pokrytí s uvažováním kapacity pobočky, minimalizování poboček, maximalizování návštěvnosti, maximalizování podílu na trhu a cílový podíl na trhu.

Výstupem je liniová vrstva dokumentující vzdálenosti mezi vybranými místy. A dále bodová vrstva *Facilities*, kde jsou ve sloupečku v atributové tabulce označeni vybraní kandidáti.

Network Analyst v programu *ArcGIS* nabízí celou řadu rozšíření analytických funkcí a vstupů, to umožňuje uživateli co nejvíce specifikovat daný problém a dosáhnout lepšího výsledku. Výsledky analýz lze také dále zpracovávat a upravovat pro další šetření.

3.7. Možnost tvorby skriptů v programovacím jazyce Python

Jednou z výhod skriptování v programovacím jazyce *Python* je možnost automatizovat úkoly prováděné v GIS programech. Další výhodou skriptování je možnost „slepovat“ funkce za sebou do jedné velké funkce. Skriptování je možné v programech *QGIS*, *GRASS GIS* a *ArcGIS*. Tato práce se zaměřuje na skriptování v programu *ArcGIS*, proto budou následující odstavce věnovány právě této problematice.

Každá verze *ArcGISu* má implementovanou novou verzi Pythonu, nové verze neumožňují zpětnou kompatibilitu s předchozími verzemi.

Při skriptování je nutné implementovat žádoucí moduly. Tím nejpodstatnějším je modul *Arcpy*, ten zahrnuje všechny standardní funkce (*Toolboxy*) *ArcGISu*. Tento modul umožňuje provádět geografické analýzy dat, konverze dat a správu dat (Bečička, Zajíček 2013). Moduly *Sys* a *Os* podporují práci s řetězci a dále i se systémovými operacemi. Modul *Math* podporuje matematické objekty a funkce.

4. Řešení konkrétního problému

Protože je problém *location – allocation* značně rozsáhlý, je důležité zvolit konkrétní analýzy v závislosti na zadaném problému. Tímto problémem může být například řešení pohotovostí v podniku, který zajišťuje dopravu plynu na území České republiky.

Pro práci se síťovými analýzami byl vybrán program *ArcGIS* z důvodů poskytnutí mnoha rozšiřujících parametrů analýz a možnost další práce s výstupy.

4.1. Důvody a pravidla vzniku a fungování pohotovostní služby

Pohotovost je na objektech držena pro případ vzniku mimořádné situace. Tzn. vznik poruchy, nebo havárie. Jediným externím předpisem, který se zmiňuje o pohotovostní službě a dojezdovém času technika na dané místo, jsou technická pravidla: Základní požadavky na bezpečnost provozu plynárenských zařízení, dále jen TPG 905 01.

Porucha je podle TPG 905 01 (2013) definována jako, náhodně vzniklá odchylka od řádného provozního stavu, která je sama o sobě nevratná a musí být odborně a kvalifikovaně lokalizována, odstraněna nebo zajištěna. Může znamenat bezprostřední ohrožení života, zdraví a majetku osob nebo škody na životním prostředí. Může se také jednat o jakýkoliv únik plynu, poškození plynárenského zařízení náhlým vnějším zásahem nepřesahující částku 500 000 Kč či omezení nebo přerušení přepravy/ distribuce plynu pro nejvýše 500 odběrných míst.

Havárie je podle TPG 905 01 (2013) definována jako, náhodně vzniklé poškození plynárenského zařízení. Následkem je ohrožení života a zdraví osob, ohrožení životního prostředí, poškození zdraví, či ztráta na životech nebo poškození životního prostředí. Poškození plynárenského zařízení provozovatele náhlým vnějším zásahem přesahující částku 500 000 Kč. Únik plynu spojený s následným výbuchem či požárem. Omezení či přerušení přepravy nebo distribuce plynu pro více než 500 odběrných míst. Vznik situace, která může mít nebo má za následek vyhlášení stavu nouze. Ta je definována vyhláškou č. 344/2012 Sb.

Předpis TPG 905 01 nařizuje provozovateli povinnost organizovat a zajišťovat stálou pohotovostní službu. Pohotovostní služba má být zajištěna provozovatelem nepřetržitě s cílem zajistit v nejkratším možném čase prvotní zásah. Dále je zde uvedeno, že provozovatel musí při organizování a zajišťování pohotovostní služby vycházet zejména z rozsahu a druhu provozovaného zařízení, z dojezdových vzdáleností a z charakteru a druhu rizika vyplývajícího pro okolí pozorovaného plynového zařízení.

Na základě těchto kritérií provozovatel určil významné plynárenské objekty, které byly nazvány jako kritické body plynárenské soustavy. Bylo přihlédnuto také k množství hlášených závad za rok 2016, povaze těchto závad a možnému ekonomickému dopadu výpadku daného objektu. Na základě těchto parametrů byl daným kritickým objektům přiřazen požadovaný čas dojezdu 60 minut.

Mezi nejčastější příčiny výjezdů ve firmě patří manipulace technologií za účelem změny směru přepravy a srovnání tlaku. Dále závady na elektrozařízení jako je výpadek 400 V, výpadek záložního zdroje/přenosu dat a alarmy.

4.2. Současný stav držení pohotovostí

V současné době je systém pohotovostí řešen regionálně v dosahu jednotlivých lokálních čet údržby. Havarijní komise regionů Čechy, Morava a čtyři regiony v okolí kompresních stanic jsou odborné poradní orgány vedoucích regionů. Jsou určeny pro řešení mimořádných situací v regionech a pro první fázi likvidace havárií a poruch po vyhlášení havarijního stavu v příslušném regionu. Jejich úkolem je co nejrychlejší obnovení dodávky a bezpečné přepravy plynu. Technici údržby nejsou rozmístěni rovnoměrně, jejich počet je v některých regionech velmi nedostačující, v některých regionech naopak mnohonásobně přebytečný.

5. Data

Nedílnou součástí síťových analýz jsou vstupní data. Je to jeden z klíčových faktorů, ve kterém se odráží kvalita výsledků analýzy. Pro tuto práci byla použita data z databáze *ArcČR 500* verze 3.3, která byla stažena 29. 4. 2017. Konkrétně liniová vrstva silnic a polygonová vrstva sídel, sloužící k úpravě rychlosti na síti.

Bodové vrstvy kritických a adresních míst, byly získány od firmy NET4GAS, která je přepravcem plynu v České republice. Vrstva adresních míst obsahuje informace o výjezdních místech 75 zaměstnanců, ze kterých vyjíždí na pohotovost. V důsledku ochrany osobních práv zaměstnanců, vstupuje do analýz této práce místo identifikačního atributu „*příjmení*“ atribut „*šifrování*“, který přiřadil každému příjmení jedno, dvě, nebo tři písmena abecedy (bez duplicit). Vrstva kritických míst obsahuje informace o poloze 99 kritických míst vymezených na základě TPG 905 01, viz kapitola: *Důvody a pravidla vzniku a fungování pohotovostní služby*.

Pro provádění analýz a veškerých úprav dat v první a druhé fázi byl použit program *ArcGIS* verze 10.2 od firmy *Esri*, konkrétně aplikace *ArcMap*. Výsledná matice vytvořená v druhé fázi, byla dále upravena v programu *Excel 2016* z balíčku *Microsoft Office*. Ve třetí a čtvrté fázi bylo navíc použito integrované vývojové prostředí *Pycharm*, které je vyvinuté českou společností *JetBrains*. Za pomoci knihovny *ArcGISu: Arcpy* bylo vytvořeno zautomatizované rozhodovací pravidlo a dále byly do výstupu implementovány grafické prvky.

6. Metodika

Je rozdělena do pěti fází, viz vývojový graf č. 1.

Základním principem práce jsou síťové analýzy. Klíčovou roli hraje dopravní síť silnic, na které všechny analýzy probíhají. Tu je potřeba upravit, přidat atribut času tak, aby pohyb po síti co nejvíce odpovídal reálnému pohybu vozidla, tato úprava je zahrnuta v první fázi. Dále první fáze zahrnuje získání a úpravu vstupních bodových dat, tedy kritických míst a adresních míst techniků.

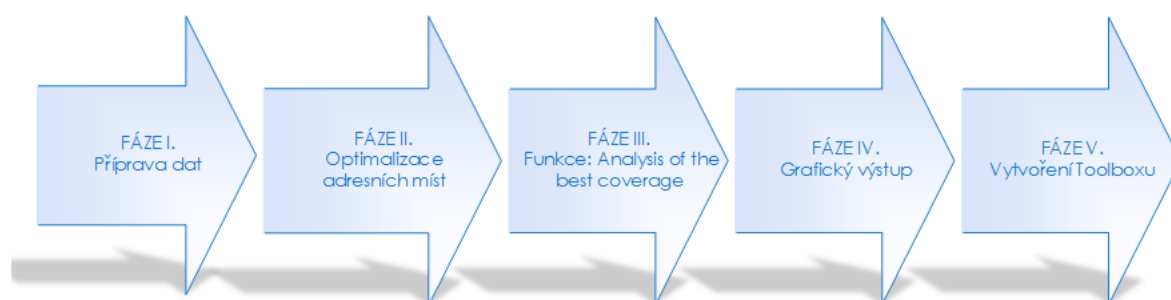
Ve druhé fázi bude probíhat optimalizace aktuálního počtu míst držících pohotovost. Budou vytvořeny skupiny minimálního počtu míst držících pohotovost, které jsou schopny pokrýt všechna kritická místa do definovaného času. V této fázi už velmi záleží na charakteru místa, ze kterého je držena pohotovost. Zda jde o stálé místo, ve kterém se mění pouze osoby držící pohotovost, ale výjezdní místo je pořád stejné. Příkladem může být hasičská stanice či výjezdní místo záchranné služby. Druhou možností je, že dané osoby drží pohotovost z místa svého bydliště. Zde se předpokládá, že bude existovat více skupin držících pohotovost v závislosti na adresních místech. Důvodem existence více skupin je umožnění střídání osob držících pohotovost. Pro tuto práci byla zvolena druhá možnost.

Třetí fáze bude vytvoření funkce *Analysis of the best coverage* tzv. „rozhodovacího pravidla“. Zde se bude pracovat již s optimalizovanými skupinami míst držících pohotovost. Princip bude spočívat v tom, poslat na místo, které vyhlásí pohotovost, takové místo držící pohotovost, aby se co nejméně narušila síť pokrytí všech zbylých kritických míst.

Čtvrtá fáze zahrnuje grafický výstup třetí fáze. Aby byla poskytnuta intuitivní vizualizace výsledku.

Poslední pátou fází je vytvoření *Toolboxu* funkce. Tedy grafického uživatelského rozhraní funkce, které se dá spustit v programu *ArcGIS*.

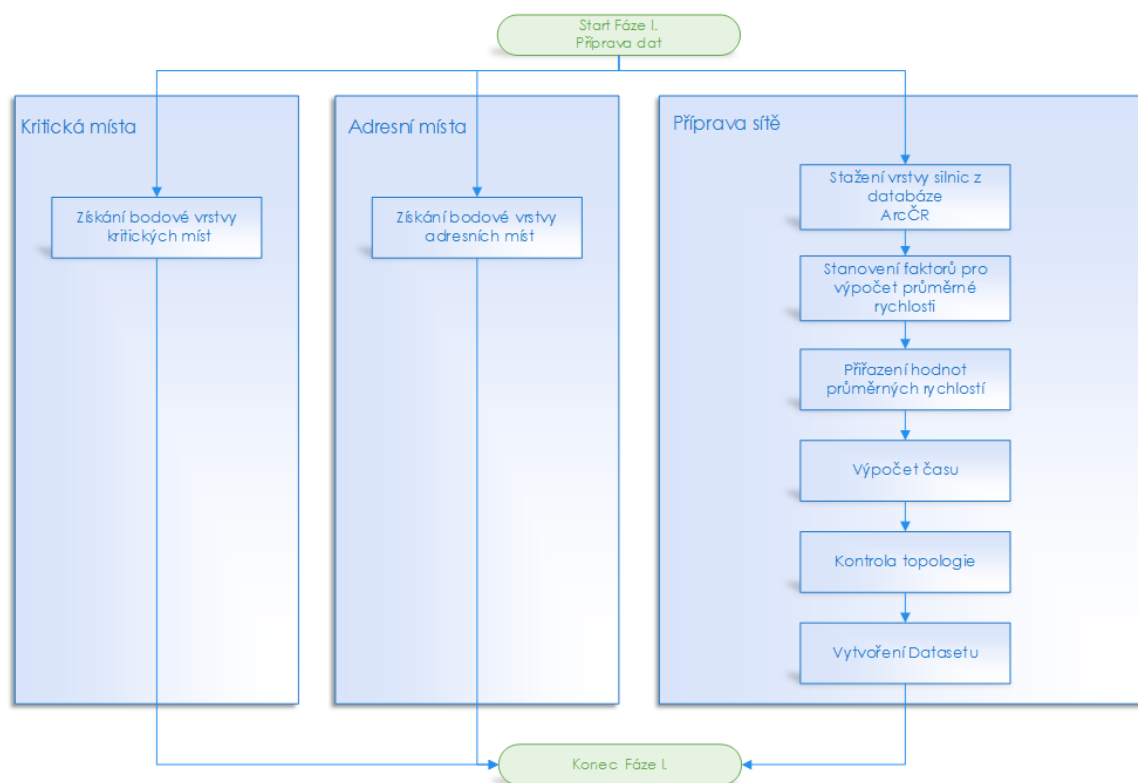
Vývojový graf č. 1: Fáze bakalářské práce



6.1. Fáze I. – Příprava dat

Stručný popis první fáze je popsán vývojovým grafem č. 2.

Vývojový graf č. 2: Popis první fáze



Příprava silniční sítě

Pro účely této práce byly do stanovení průměrné rychlosti zahrnuty tyto faktory: třída silnice, počet jízdních pruhů (šířka silnice), umístění komunikace vzhledem k osídlení a zakřivení silnice. Počet jízdních pruhů a třída silnice je již součástí atributové tabulky vstupních dat silnic.

Vstupní vrstva silnic obsahovala *Multipart* prvky, ty bylo nutné převést na *Singlepart* pomocí funkce *Explode Multipart Feature*.

Silnice byly ohodnoceny podle tabulky č. 1.

Tabulka č. 1: Hodnoty průměrných rychlostí v modelech dostupnosti

Druh komunikace	Průměrná rychlost v období 2001 a 2020	
	intravilán	extravilán
silnice I. třídy	30	70
ostatní komunikace (vč. II. tř.)	25	50
ostatní komunikace (vč. III. tř.)	20	40
silnice II. třídy (2pruhová)	35	70
silnice I. třídy (2pruhová)	40	80
dálnice (3pruhová)		120
dálnice (2pruhová), rychlostní silnice (3pruhová)		115
rychlostní silnice (2pruhová)		110

Zdroj: Hudeček 2008, Kufner 2010 in Hudeček, Churaň, Kufner 2011

Pozn.: Počet pruhů pouze v jednom směru

Vstupní data však obsahovala více atributů počtu pruhů, než bylo uvedeno v tabulce. Ve vrstvě silnic je udáván počet pruhů jako jejich součet v obou směrech. Vrstva silnic tak obsahuje jednotlivé úseky silnic i s lichým počtem pruhů. Po bližším prozkoumání nad ortofotem, bylo zjištěno, že úseky s lichým počtem většinou mapují napojovací či odbočovací pruhy nebo široké krajnice. Z tohoto důvodu nebyla těmto úsekům přiřazena specifická rychlost, ale byly zařazeny do nejbližší odpovídající kategorie. Tak to bylo provedeno i pro úseky se sudým počtem pruhů, které nespádají do žádné kategorie, viz tabulka č. 2.

Tabulka č. 2: Přiřazení hodnot průměrných rychlostí v modelu dostupnosti.

Druh komunikace	Počet jízdních pruhů	Průměrná rychlost v období 2001 a 2020	
		intravilán	extravilán
silnice I. třídy	2, 3	30	70
ostatní komunikace (vč. II. tř.)	2, 3	25	50
ostatní komunikace (vč. III. tř.)	2, 3, 4, 5, 6, 7	20	40
silnice II. třídy (2pruhová)	4, 5, 6, 7, 8	35	70
silnice I. třídy (2pruhová)	4, 5, 6, 7, 8	40	80
dálnice (3pruhová)	6, 7		120
dálnice	4, 5		115
dálnice (2pruhová), rychlostní silnice (3pruhová)	6, 7		115
rychlostní silnice (2pruhová)	4, 5		110

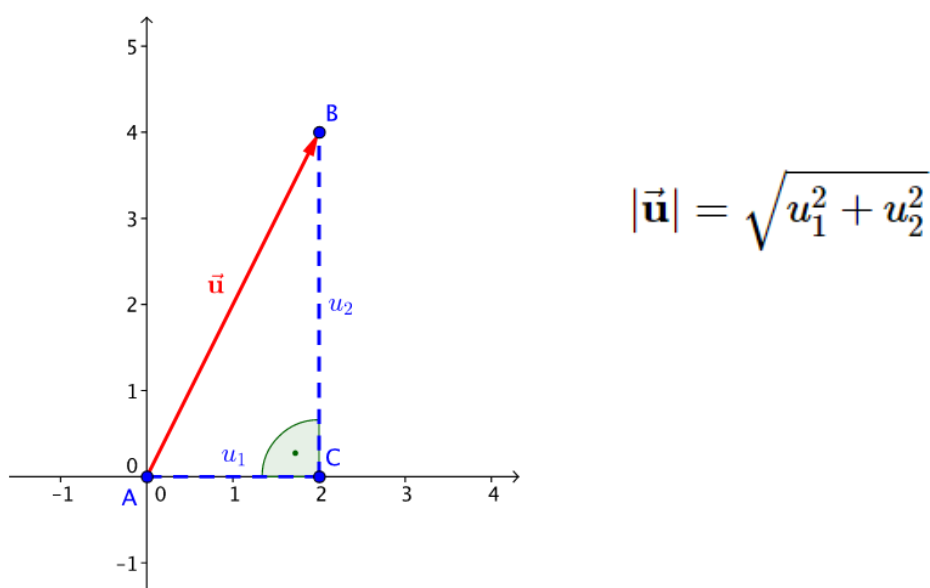
Zdroj: Hudeček 2008, Kufner 2010 in Hudeček, Churaň, Kufner 2011, vlastní úprava

Pozn.: Počet pruhů udává jejich součet v obou směrech

Komunikace byly víceřadovou GIS analýzou rozčleněny podle vrstvy obcí. Do modelu nebyly zahrnuty malé obce, které nejsou obsaženy v podkladové databázi sídel *ArcČR 500*. Tato sídla jsou značně malá, tudíž ovlivňují přesnost sítě minimálně (Hudeček 2008).

Křivost byla vypočítána podle vzorce v kapitole: *Tvorba datového modelu sítě*. Souřadnice počátečních a koncových bodů linie byly získány pomocí funkce *Calculate Geometry*. Z nich byla následně za pomoci Pythagorovy věty vypočítána délka spojnice, viz obrázek č. 5. V síti byla zjištěna přítomnost dvou smyček, kdy dochází ke ztotožnění koncového a počátečního bodu. Těmto liniím byl přidán prostřední bod a výsledná vzdálenost byla počítána jako součet délek z počátečního bodu do středového a ze středového do koncového bodu.

Obrázek č. 5: Velikost vektorů



Zdroj: Havrnlant (2014)

Následně byl vypočítán čas potřebný pro přejetí jednotlivých linií v síti podle vzorce:

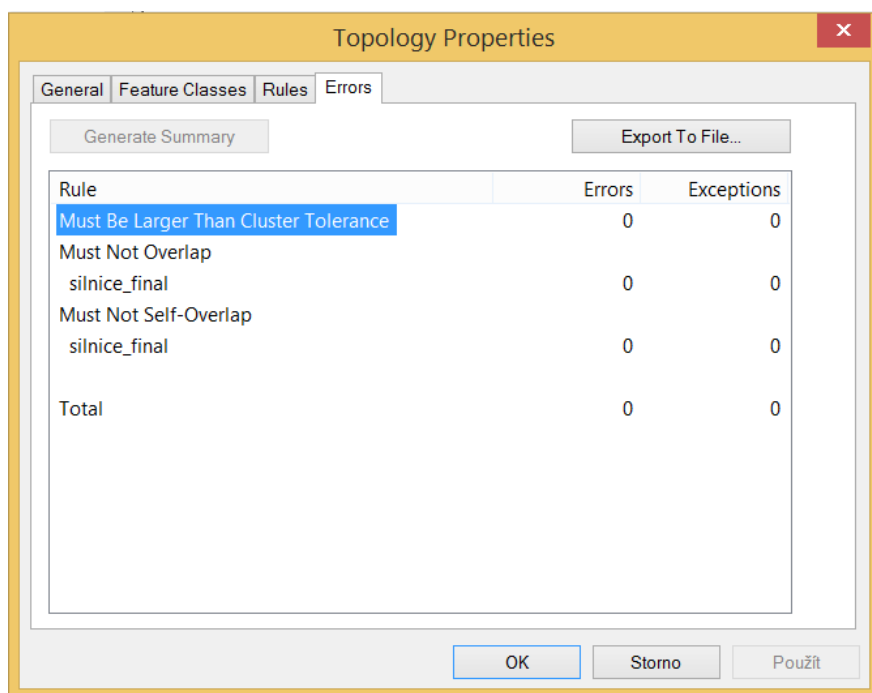
$$t = \frac{s}{v}$$

Výsledek byl převeden na minuty a vydělen indexem křivosti. Takto ohodnocený sloupec s atributem času bude vstupovat do všech následujících analýz.

Před vytvořením *Network Datasetu* byla provedena kontrola topologie sítě. Bylo kontrolováno dodržení těchto pravidel: *Must Be Larger Than Cluster Tolerance*, *Must Not Overlap*, *Must Not Self – Overlap*. Kontrola nezaznamenala žádná porušení topografických pravidel, viz obrázek č. 6.

Po kontrole topologie byl vytvořen *Network Dataset*, do kterého byl přidán atribut času.

Obrázek č. 6: Výsledek kontoly topologie



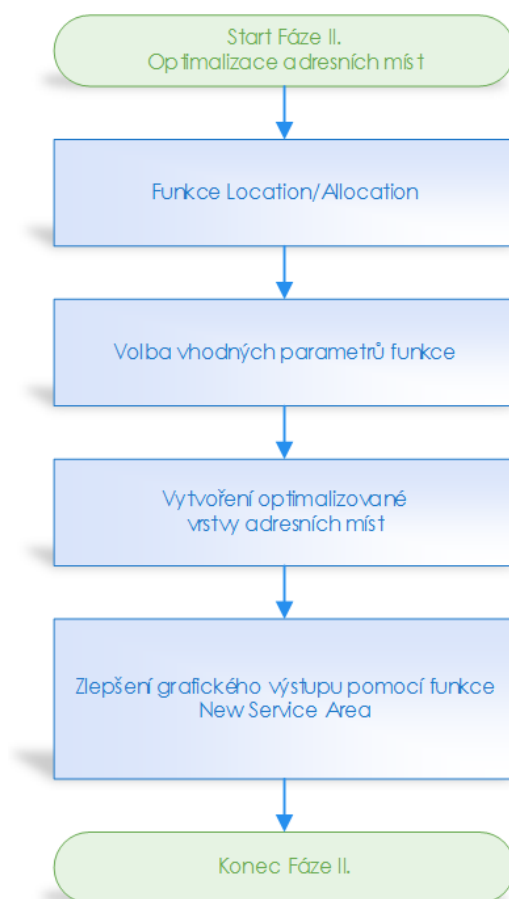
The screenshot shows the 'Topology Properties' dialog box with the 'Errors' tab selected. The 'Errors' tab contains a table with three columns: 'Rule', 'Errors', and 'Exceptions'. The table lists four rules: 'Must Be Larger Than Cluster Tolerance', 'Must Not Overlap silnice_final', 'Must Not Self-Overlap silnice_final', and a 'Total' row. All values in the 'Errors' and 'Exceptions' columns are 0. The 'Must Be Larger Than Cluster Tolerance' row is highlighted in blue. The dialog box also has buttons for 'Generate Summary', 'Export To File...', 'OK', 'Storno', and 'Použít'.

Rule	Errors	Exceptions
Must Be Larger Than Cluster Tolerance	0	0
Must Not Overlap silnice_final	0	0
Must Not Self-Overlap silnice_final	0	0
Total	0	0

6.2. Fáze II. – Optimalizace adresních míst

Vývojový graf č. 3, shrnuje postup druhé fáze.

Vývojový graf č. 3: Popis druhé fáze



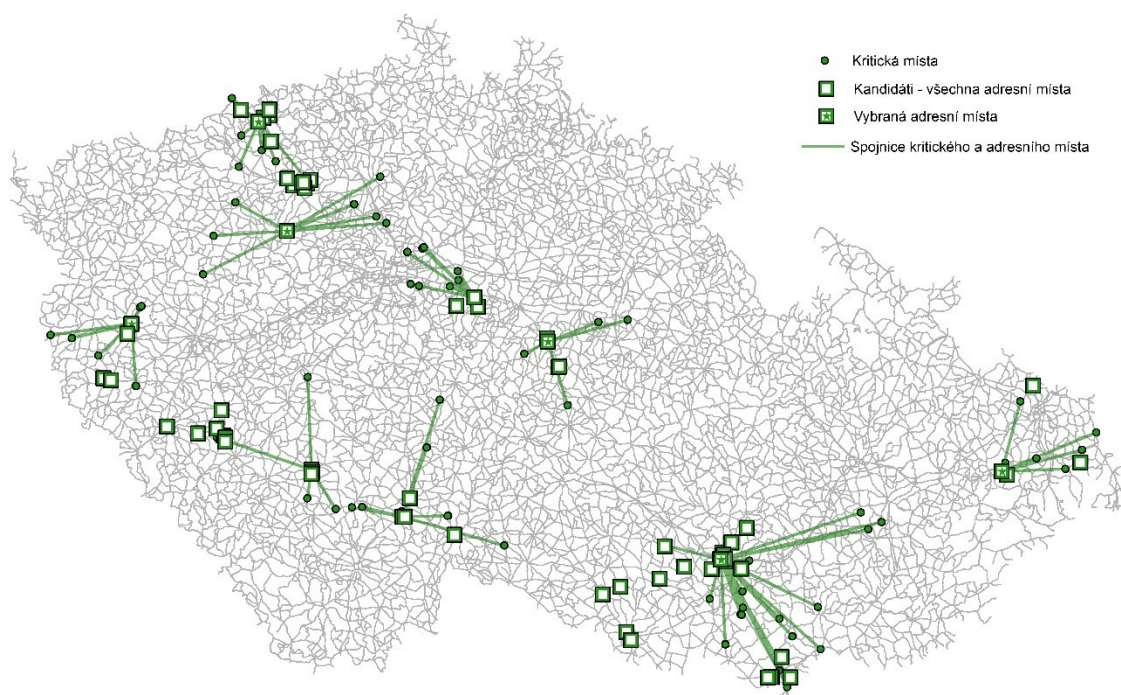
Výstupem této fáze je optimalizovaná minimální množina adresních míst, tak aby zároveň pokryla všechna místa kritická.

Vstupními daty je bodová vrstva kritických míst, bodová vrstva adresních míst a vytvořený *Network Dataset*.

Ideální optimalizovaná místa byla nalezena za pomoci funkce *Location Allocation*. Jako *Facilities* byly nahrány adresní body a jako *Demand Points* body kritické. Z tabulky vstupních bodových vrstev byl přiřazen sloupec s atributem *Name*. V parametrech samotné analýzy byl zvolen jako *Default Cutoff Value* šedesáti minutový dojezdový čas. Na základě úvodní rešerše byl vybrán *Problem type: Minimize Impedance*, tedy analýza minimalizování poboček.

Analýza ukázala, že minimální počet zaměstnanců z předem definovaných adresních míst je 9, viz obr. č. 7. Těchto devět míst bylo následně vybráno a vytvořila se první optimalizovaná skupina adresních míst.

Obrázek č. 7: Grafický výsledek analýzy *Location - Allocation*



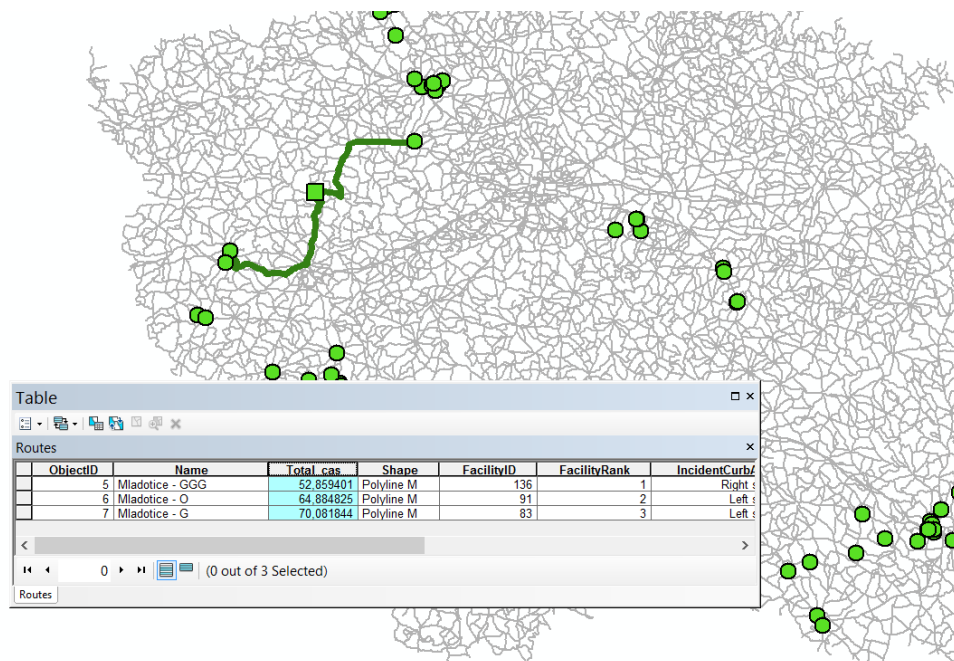
V druhé fázi byla z vrstvy původních adresních míst odebrána první skupina. Analýza se spustila znovu za účelem najít druhou skupinu adresních bodů. Ukázalo se, že zbylá adresní místa jsou rozmístěná tak, že nejsou schopna pokrýt všechna kritická místa. Navíc se minimální počet zaměstnanců zvýšil na 10.

Nepokryto zůstalo jedno místo. Pro kontrolu, zda první skupina neobsahuje více adresních míst, které jsou schopny dojet na nepokryté kritické místo, byla zavolána funkce *Closest Facility*. Jako *Facilities* bylo zadáno nepokryté kritické místo a jako *Incidents* byla zadána všechna adresní místa. Analýza ukázala, že dojezdovou dobu 60 minut splňuje pouze jedno adresní místo, viz obrázek č. 8.

Z důvodu, že adresní místa nejsou schopna pokrýt všechna kritická místa, nebyla druhá skupina vytvořena. Možná řešení pro vytvoření druhé skupiny jsou dvě. Zvýšit mezní dojezdovou dobu, třeba jen pro toto místo. Nebo zaměstnat další osobu, která bude držet

pohotovost a bude bydlet v takové lokalitě, jejíž dojezdová doba na ono místo nepřekračuje mezní čas. Polygon takovéto lokality lze vytvořit pomocí funkce *Service Area*.

Obrázek č. 8: Výsledek analýzy *Closest Facility*, z nepokrytého kritického místa do třech nejbližších adresních míst.



Dále byla provedena analýza, která měla určit minimální počet adresních míst, pokud by tato místa nebyla předem definována. Adresní místo by bylo možné zvolit kdekoliv na území České republiky. Tuto analýzu lze také chápat jako určení absolutně minimálního počtu adresních míst. To znamená, že pokud by měla být vytvořena celá nová skupina adresních míst, je možné tento výstup pojmout jako doporučení k tomu, z jakých obcí a jejich okolí vybírat zaměstnance tak, aby byl počet zaměstnanců minimální.

Analýza byla provedena tak, že místo vrstvy adresních míst vstupovala do analýzy jako *Facilities* bodová vrstva obcí ČR, tj. 6 258 bodů. Výsledkem je snížený počet optimalizovaných adresních míst na 7. Tento výsledek značí, že počet adresních míst je ještě možné snížit. Pokud je tedy nutné přiřadit jeden další bod držící pohotovost, bylo by dobré přiřadit takový, aby se počet optimalizovaných adresních míst neustále snižoval a přibližoval k minimu, tedy sedmi adresním místům.

Výsledky analýz nepřinášejí pro uživatele příliš přívětivé grafické výsledky, proto byla na optimalizované bodové vrstvy použita funkce *New Service Area*. Nejprve byla vytvořena každá plocha s mezním časem 60 minut pro jednotlivé body. Tato práce byla automatizována za pomoci vytvořené funkce v *Model Builderu*, viz příloha č. 1. Dále bylo za

pomocí funkce *Union* provedeno spojení těchto polygonů. Následovala grafická úprava, jejíž výsledkem je přehlednější zobrazení „obslužných lokalit“ daných bodů, viz příloha č. 2. a 3. Na závěr byla vytvořena matice dojezdových dob v programu *Excel*, první dva sloupce znázorňují bydliště a šifrované příjmení zaměstnanců – adresních míst, první dva řádky definují druh a název kritického místa. Dojezdové doby jsou udávány v minutách, viz příloha č. 4.

6.3. Fáze III. – Vytvoření funkce: *Analysis of the best coverage*

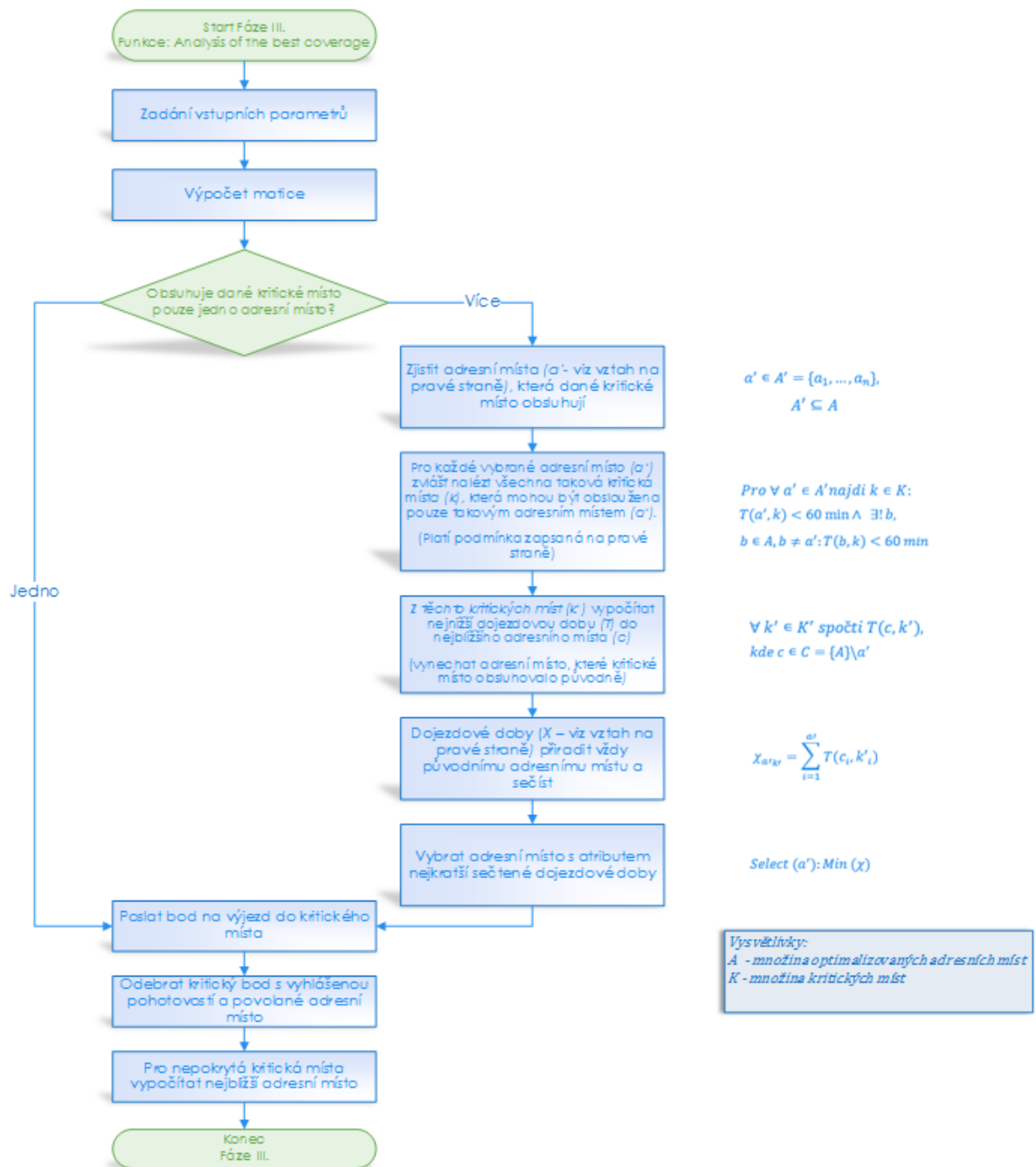
Cílem této fáze je určit z jakého adresního místa bude obsloužen konkrétní kritický bod. Základem řešení je poslat do kritického místa, (které vyhlásí pohotovost) technika z takového adresního místa, aby byla po dobu jeho zásahu minimalizována dojezdová vzdálenost na kritická místa, která obsluhuje pouze technik, který je zrovna na výjezdu. Toto řešení je automatizováno skriptem vytvořeným v programovacím jazyku Python, pomocí funkcí knihovny *Arcpy*. Postup řešení tohoto problému je popsán vývojovým grafem č. 4.

Vstupní data tvoří vrstva optimalizovaných adresních míst, viz výstup fáze III., dále vrstva bodových kritických míst a silniční síť, viz výstup fáze I. Tyto vrstvy by měly být uloženy v *Geodatabázi* jako *Feature Class*, vzorová vstupní data jsou uvedena v příloze č. 6.

Jako vstupní množina adresních míst, tedy bodů držících pohotovost, se předpokládá taková množina, jejíž počet je minimální, ale zároveň zvládnou pokrýt všechna kritická místa do definovaného času. Základním předpokladem tedy je, že pro každé adresní místo na síti existuje minimálně jedno kritické místo, jež je obsloužené pouze daným adresním místem.

Skript je rozdělen na několik částí, v té první jsou definovány globální konstanty, v té druhé jsou definovány jednotlivé funkce užívané ve skriptu. Do nich byly rozčleněny jednotlivé části skriptu za účelem větší přehlednosti. V další části jsou tyto funkce volány.

Vývojový graf č. 4: Postup řešení při tvorbě skriptu třetí fáze



6.3.1 Popis řešení „rozhodovacího pravidla“

Uživatel navolí vstupní parametry skriptu.

Skript vytvoří matici pro nejkratší vzdálenosti z adresních bodů do všech kritických míst s podmínkou mezního dojezdového času. Zvolí se bod, který zadal uživatel, co vyhlásil pohotovost. Vyhledá se, kolik adresních míst splňuje danou dojezdovou dobu. Pokud dojezdovou dobu splňuje pouze jedno adresní místo, bude toto místo vysláno ke kritickému bodu. Pro zbylé nepokryté kritické body bude nalezen nejbližší adresní bod (mimo ten, který bude poslán na kritické místo), ten bude dané kritické místo dočasně obsluhovat.

Pokud dané kritické místo zvládne obsloužit dva a více adresních bodů, algoritmus vybere daná adresní místa, která zvládnou daný kritický bod, který vyhlásí pohotovost obsloužit do daného času.

Dále bude použita matice mezní dojezdové doby pro všechna adresní místa do kritických bodů. Pro každý z vybraných adresních bodů (těch, které obslouží kritické místo, které zrovna vyhlásilo pohotovost) spočítat, kolik kritických bodů dohromady obslouží. Zároveň prohledat z celé matice kritické body, jsou obsluhovány i jiným adresním místem, ty z výběru vyloučit a vybrat pouze body, které obslouží dané adresní místo samo. Z těchto kritických bodů, které dané místo obslouží, najít nejbližší adresní místo (mimo to, které tento bod obsluhuje normálně). Spočítat do tohoto adresního místa časové dojezdové doby a ty pak sečíst. Výslednou hodnotu pak přiřadit původnímu adresnímu místu. Toto provést pro každé adresní místo, které může obsloužit daný kritický bod, který vyhlásí pohotovost do mezního času.

Adresní místo, které bude mít delší dojezdovou dobu, ponecháme. A do kritického místa bude posláno adresní místo s nejkratší časovou dojezdovou dobou. Pro zbylé nepokryté kritické body dohledat nejbližší adresní bod (mimo ten, který bude poslán na kritické místo), ten bude dané kritické místo dočasně obsluhovat.

Výstupem jsou bodové a liniové vrstvy formátu *Feature Class* lokalizované ve vstupní databázi ve *Feature Datasetu* „results“ vytvořeném speciálně pro výstupy. Výstup obsahuje samostatnou vrstvu s bodem, který vyhlásil pohotovost (*BC_bod_vyhlasil_pohotovost*). Vrstvu s bodem, který byl programem vyslán na zásah (*BC_bod_jede_na_vyjezd*). Liniovou vrstvu matice nejrychlejších dojezdových dob s podmínkou mezního času mezi kritickými a adresními místy (*BC_linie_matice_bez_I_AM_KM*). Matice neobsahuje: kritické místo, které vyhlásilo pohotovost, adresní místo jedoucí na zásah a nepokryté kritické body. Dále výstup obsahuje liniovou vrstvu nejrychlejších dojezdových dob z nepokrytých kritických míst

k nejbližšímu adresnímu místu mimo to, které jelo na výjezd (*BC_linie_nejkratsi_cesta_neobslouzene_body*). Vrstvu nepokrytých bodů, ta obsahuje body, které nejsou obsluhovatelné do mezního času (*BC_body_nepokryte*). Vrstvu adresních míst bez adresního místa, které je vysláno na výjezd (*BC_AM_bez_adresniho_mista_vyjezdu*). Vrstvu kritických míst, bez kritického místa, které vyhlásilo pohotovost (*BC_body_KM_bez_b_vyhl_pohotovost*).

Možný výstup skriptu je uveden ve *Feature Datasetu* „results“ v *Geodatabázi* v příloze č. 7. Výstup obsahuje i vstupní data.

6.3.2. Implementace

Nejprve skript provede analýzu dat, které jsou uložena v *Geodatabázi*, jež je nastavena jako *workspace*. Pokud v databázi již existuje výstupní *dataset* s názvem „results“ (například z předchozí analýzy), bude smazán (*delete_exist_features*).

Dále skript provede kopii vstupních bodových vrstev a zároveň vytvoří *dataset* s názvem „results“, do kterého budou ukládány všechny výstupní vrstvy (*copy_input_data_and_output_feature_dataset*).

Vytvoří se vrstva matice dojezdových vzdáleností z adresních míst do míst kritických s parametrem mezního času (*make_matrix_layer*). Do této funkce vstupují vrstvy kritických a adresních míst, *Network Dataset* a parametr mezního času. Z jednotlivých bodových vrstev jsou pak voleny parametry identifikace (jméno, název kritického místa), které vstupují do analýzy a jsou obsaženy v atributové tabulce výstupu. Výstupem je liniová vrstva spojující taková kritická místa s adresními, jejichž vzájemná časová dostupnost je menší než parametr mezního času. Výsledná liniová vrstva obsahuje nejen identifikační parametr, ale také specifické ID vstupních bodů.

Dále jsou nalezena všechna adresní místa, která mohou obsloužit bod, jenž vyhlásil pohotovost (*find_AP_served_given_CP*), to je provedeno tak, že se vytvoří iterátor ID bodu, který vyhlásil pohotovost. A za pomoci tohoto ID se z liniové vrstvy matice vyberou takové linie, které ID obsahují. Z takto vybrané vrstvy je následně zkopírováno ID adresních míst a z těchto ID je vytvořena nová vrstva. Vznikne tak bodová vrstva adresních míst, která obsluhují kritické místo, jež vyhlásilo pohotovost.

Tato vrstva vstupuje do funkce (*choose_AM_go_on_the_road*), zde je uplatněn *for* cyklus a *if* podmínka. *For* cyklus pro každý řádek v atributové tabulce bodů obsluhujících adresních míst. *If* podmínka rozděluje funkci na dvě možnosti. Pokud je v atributové tabulce

obsluhujících adresních míst pouze jeden řádek = jedno adresní místo, funkce pošle toto místo na výjezd do kritického bodu. Pokud je v atributové tabulce více řádků = více adresních míst, je nutné rozhodnout, které místo na výjezd pojede.

Pokud existuje více adresních míst, která jsou schopna obsloužit do mezního času dané kritické místo, jsou pro každý takový bod hledána kritická místa, která obsluhuje jen bod samotný. To se provede tak, že je vytvořen list z liniové vrstvy matice specifických ID kritických bodů, která obsluhuje daný adresní bod (list neobsahuje kritický bod, který vyhlásil pohotovost). Dále je vytvořena liniová vrstva, kde jsou smazány všechny linie vedoucí k danému adresnímu místu (liniová vrstva také neobsahuje bod, jenž vyhlásil pohotovost). Z této liniové vrstvy je vytvořen list specifických ID kritických bodů, které ve vrstvě zůstaly. Následně jsou z listu ID specifických bodů, které jsou obsluhovány daným adresním místem odečtena taková ID, která se nacházejí i ve vytvořené liniové vrstvě, ze které byly smazány linie vedoucí k danému bodu. Výsledkem jsou ID kritických bodů, která obsluhuje pouze daný bod.

Z těchto bodů, které obsluhuje pouze daný adresní bod, je vyhledána cesta do nejbližšího adresního bodu (*create_closest_facility*), je vynechán bod, který adresní místo obsluhoval původně. Následně je vytvořena tabulka, do které se vypočítá součet dojezdových vzdáleností všech potenciálně nepokrytých kritických bodů, pokud by dané adresní místo jelo na výjezd. Hodnota z tabulky je následně zapsána do nově vytvořeného sloupce s názvem „*sum_TT*“ v atributové tabulce vrstvy, která je kopií adresních míst. Takto je to provedeno pro každý adresní bod, který je schopen obsloužit kritické místo, jež vyhlásilo pohotovost do mezního času.

Následně jsou všechny hodnoty ve sloupci „*sum_TT*“ seřazeny od nejnižší po nejvyšší. A je vybrána první, tedy nejnižší hodnota mimo NULL hodnotu. Bod obsahující tuto hodnotu je vyslán na výjezd.

Dále je vytvořena matice (*matrix_without_1_AP_KP*) spojující adresní místa bez adresního místa, které jelo na výjezd, a kritická místa bez kritického místa, které vyhlásilo pohotovost. Podmínkou je zase mezní dojezdová doba. Maticí lze definovat nepokryté kritické body, které se vytvořily tím, že bylo jejich spádové adresní místo vysláno na výjezd.

Pro tyto body byla vytvořena liniová vrstva spojující daný kritický bod s nejbližším adresním místem, mimo ten, který je na výjezdu (*make_closest_facility*).

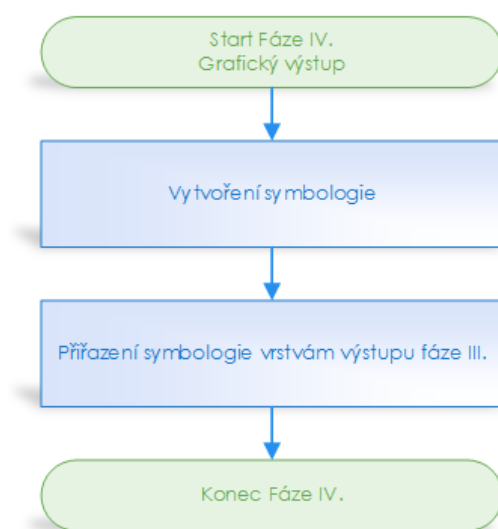
V poslední fázi skriptu byly smazány nepotřebné vrstvy, které byly vytvořeny během procesu (*delete_unnecessary_layers*).

Skript dále obsahuje definování vstupních parametrů a propojení vrstev s *Layer Files*. To bude blíže rozvedeno v následujících fázích. Skript v jazyce *Python* využívající moduly *Arcpy* je umístěn v příloze č. 5, název jednotlivých funkcí a parametry u definovaného názvu funkce byly zadány tak, aby co nejlépe vystihly to, co funkce dělá.

6.4. Fáze IV. – Grafický výstup

Tato fáze je prováděna za účelem zpřehlednění výstupních dat. To je důležité zejména pro rychlé rozhodování operátora, který potřebuje vyslat co nejrychleji daný bod na kritické místo, postup fáze je popsán vývojovým grafem č. 5.

Vývojový graf č. 5: Popis čtvrté fáze



Vstupními daty této fáze jsou všechny vrstvy z *Feature Datasetu*, do kterého jsou ukládány výsledky funkce v *Geodatabázi*. Ty byly vytvořeny funkcí vytvořenou ve třetí fázi.

V programu *ArcMap* byly nejprve vytvořeny podklady pro grafickou prezentaci jednotlivých výsledků. Zvolily se znaky charakterizující jednotlivé vrstvy. Výsledná matice mezních dojezdových dob byla graficky rozdělena na dojezdové doby do 30 a 60 min. Každá tato vrstva byla jednotlivě uložena do nově vytvořené složky. Vrstvy byly uloženy jako formát *Layer File*. Tento formát ukládá cestu k zdrojové datové sadě a zároveň k dalším vlastnostem vrstvy, jako je symbologie.

Dále byla vytvořena funkce: *assign_data_from_geodatabase_to_lyr_file*, která přiřadí výsledné vrstvě vytvořené ve třetí fázi daný *Layer File* vytvořený speciálně pro tuto vrstvu.

Výsledkem této fáze jsou lyr. soubory, které popisují daný výsledek nejen daty, ale i symbologií. Tyto soubory lze otevřít v programu *ArcGIS* a dále s nimi pracovat. Složka obsahující grafický výstup je obsažena v příloze č. 8.

6.5. Fáze V. – Vytvoření Toolboxu

Tato fáze slouží k vytvoření *toolboxu*, do kterého lze nahrát skript a ten je pak možné spustit v prostředí programu *ArcGIS*. Pro skript je možné pomocí *AddScript wizardu* nadefinovat grafické uživatelské rozhraní pro zadávání proměnných. Postup páté fáze je popsán vývojovým grafem č. 6.

Vývojový graf č. 6: Popis páté fáze



Prvním krokem je výběr proměnných, které budou poskytnuty uživateli. V této fázi záleží na účelu skriptu. Zda má být aplikovatelný pro více úkolů, či zda záleží na rychlosti výsledku a zadávání mnoha parametrů by se jevílo jako zdlouhavé. Pro výstup této fáze byla zvolena varianta více parametrů. Ty se však dají kdykoliv odebrat a parametrům je možné navolit absolutní cesty, záleží na požadavcích uživatele.

Byly zvoleny tyto parametry:

- Volba *Workspace*
- Volba vstupní bodové vrstvy kritických míst

- Volba identifikačního parametru pro kritická místa, který bude vstupovat do všech funkcí skriptu. Jde o sloupec z atributové tabulky vrstvy kritických míst.
- Volba vstupní bodové vrstvy adresních míst.
- Volba identifikačního parametru pro adresní místa, který bude vstupovat do všech funkcí skriptu. Jde o sloupec z atributové tabulky vrstvy adresních míst.
- Výběr kritického místa, které vyhlásí pohotovost. Probíhá pomocí SQL dotazu z vrstvy kritických míst.
- Volba *Network Datasetu*, nad kterým budou probíhat všechny analýzy.
- Volba parametru mezního času. Je to doba, do níž musí na každé kritické místo dorazit minimálně jedno místo adresní.
- Volba složky, ve které jsou uloženy *Layer File* charakteristické pro jednotlivé vrstvy.
- Volba výstupů – ta je typu *Derived*. Jde o výstupní parametr. Uživateli se nezobrazuje a slouží k splnění podmínky nutnosti výstupních parametrů.

Dále byly volitelné parametry zadány ve skriptu pomocí funkce *arcpy.GetParameterAsText (rank)*, kde *rank* je pořadí parametru číslované od nuly. Parametry byly očíslovány přesně podle pořadí, v jakém byly vypsány v předchozím odstavci.

V programu *ArcGIS* byl vytvořen nový *Toolbox* a pomocí tlačítka *Add -> script* byl přidán nový skript. V *AddScript wizard* byly navoleny atributy skriptu jako *Name*, *Label*, *Description* a byl zaškrtnut parametr *Always run in foreground*. Dále byl vybrán soubor se skriptem. Navoleným parametrům byl přiřazen určitý *Data Type* a bylo jim přiděleno *Display Name*, které bude vstupovat do uživatelského okna funkce, viz tabulka č. 3.

Tabulka č. 3: Přiřazení Layer Name a Data Type parametrům dle pořadí

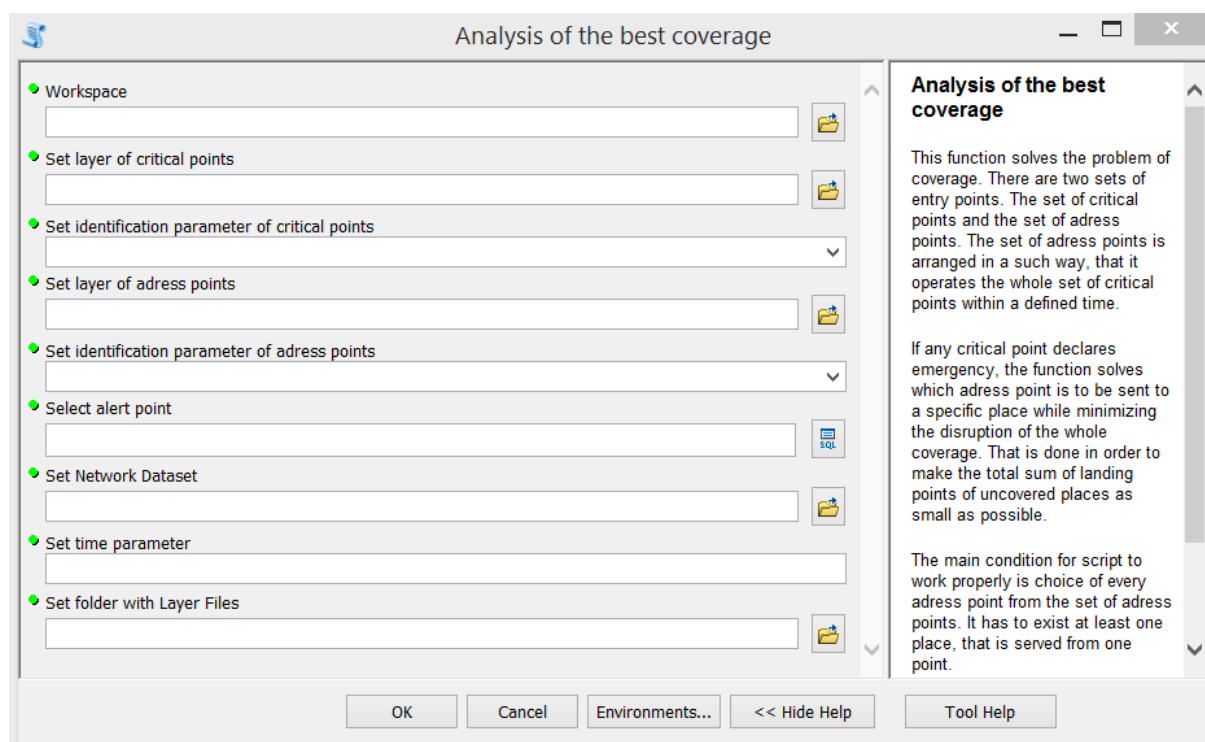
Číslo parametru dle pořadí	Layer Name	Data Type
0	Workspace	Workspace
1	Set layer of critical points	Feature Class
2	Set identification parameter of critical points	Field
3	Set layer of adress points	Feature Class
4	Set identification parameter of address points	Field
5	Select alert point	SQL Expression
6	Set Network Dataset	Network Dataset
7	Set time parameter	Double
8	Set output feature class	Feature Class
9	Set folder with Layer Files	Folder

Všechny parametry mimo číslo parametru 8 jsou vstupními parametry a jejich zadání je povinné. Parametry číslo 2 a 5 jsou závislé na parametru číslo 1 a odvíjí se od jeho atributové tabulky. Stejně tak je závislý i parametr číslo 4 na parametru číslo 3.

Na závěr byly přidány pomocí *Item Description* popisy parametrů a celé funkce.

Výsledkem je uživatelské okno funkce, které je možné spouštět v programu *ArcMap*, viz obrázek č. 9.

Obrázek č. 9: Uživatelské okno funkce *Analysis of the best coverage*



Aby skript správně fungoval, musí mít vstupní vrstvy určité parametry, se kterými skript pracuje. Jedná se například o atribut *Network Dataset* s názvem „cas“, v tomto atributu je umístěna doba, za kterou je překonán daný úsek silnice, viz první fáze. Ve složce s *Layer Files* nesmí být změněn název vrstev, ten je totiž propojen s vrstvami z výsledného *Feature Datasetu* umístěného v databázi. Tyto povinné parametry lze zrušit tím, že budou vytvořeny jako volené, to znamená, že by uživatel musel navolit atribut, za který bude síť počítat a zároveň pro každý výstup specifikovat *Layer File*. Dalším parametrem, který podléhá správnému zadání, je mezní čas, ten musí být stejný jako parametr času zadávaný pro vytvoření optimalizovaných skupin ve druhé fázi. Výsledný *Toolbox* je umístěn v příloze č 9.

Před spuštěním funkce je nutné mít zavřené všechny vrstvy, se kterými funkce pracuje.

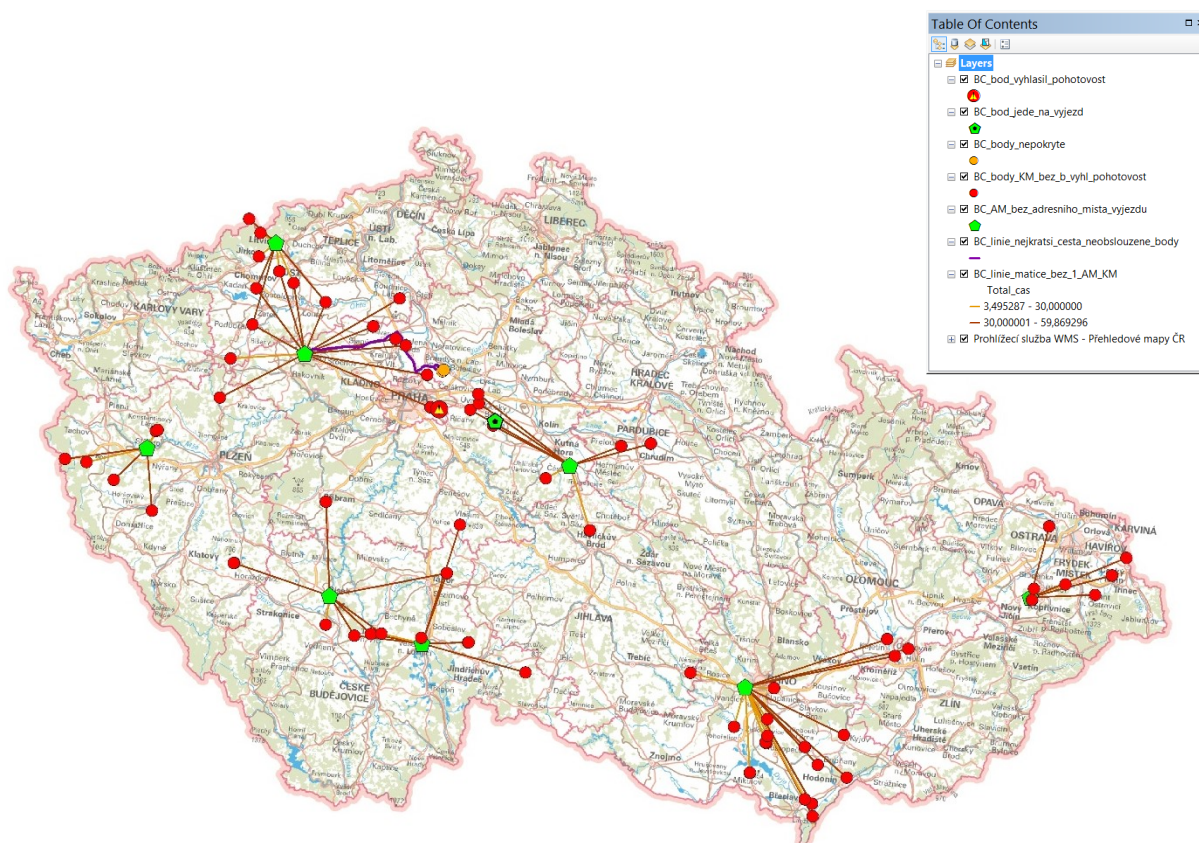
7. Postup práce při vyhlášení pohotovosti

Kritický bod vyhlásí pohotovost. Uživatel navolí parametry funkce, viz kapitola 6.5., tedy i bod, který vyhlásil pohotovost. Výsledkem funkce jsou jednotlivé vrstvy ve *Feature Datasetu*. Dále přepsané *Layer Files*, které byly zadány také jako parametry funkce. Ty obsahují nejen cestu k jednotlivým vrstvám, ale i symbologii jednotlivých vrstev. *Layer Files* je nutné nahrát do *ArcMapu*.

Podle názvu vrstvy i podle symbologie operátor snadno určí, který bod jede na výjezd, který bod vyhlásil pohotovost a jaká kritická místa jsou díky výjezdu adresního místa neobsloužena, viz obrázek č. 10.

Pro zjištění bližších informací o daném bodě či linii (včetně názvu linie/bodu) je nutné použít tlačítko *Identify* nebo otevřít atributovou tabulku. Názvy jednotlivých bodů či linií nebyly do grafického výstupu implementovány z důvodu velkého množství bodů a linií, které se nacházejí blízko u sebe. Jednotlivé popisy by tak působily nepřehledně. V liniových vrstvách se v atributové tabulce pod atributem „*name*“ nachází názvy (identifikační parametry) adresních a kritických bodů, které daná linie spojuje.

Obrázek č. 10: Vizualizace výsledku funkce *Analysis of the best coverage* v *ArcMapu*



8. Diskuze a závěr

Definované cíle práce se podařilo splnit.

Díky úvodní rešerši byly pro práci zvoleny vhodné postupy, funkce *Location Allocation*, matice vzdáleností a funkce nejbližšího dojezdového bodu. Pro práci se síťovými analýzami byl vybrán program *ArcGIS*, který nabízí největší rozšíření a díky účelně vybraným parametrům i největší přiblížení se řešenému problému. V neposlední řadě bylo díky rešerši naleznuto řešení, jakým způsobem vytvořit silniční síť, aby čas překonaný za určitý úsek sítě odpovídal reálnému času, který potřebuje vozidlo k překonání daného silničního úseku. Bylo zjištěno, že pro jeden ze zadaných cílů „Vytvoření pravidla, které bude rozhodovat, jaký bod bude vyslán na dané místo, aby se co nejméně narušilo pokrytí sítě“, neexistuje žádná komplexní funkce.

Kvalita výsledné silniční sítě s přidáním atributem času vstupujícím do analýz byla testována tak, že náhodně vybrané časové výsledky překonání daného úseku na síti byly porovnány s online „route plannery“ od společnosti Seznam a Google. Výsledky náhodně vybraných tras se až na jednu trasu lišily minimálně. Důležité je, že vytvořená síť neurychluje pohyb na síti, a tím pádem není narušen mezní čas dojezdových dob, viz tabulka č. 4.

Tabulka č. 4: Srovnání časových dojezdových dob

Trasa	Vytvořená síť	Planner Googlu	Planner Seznamu
Lipany – Brázdim	49	41	47
Litvínov – Bezměrov	234	239	216
Obora – Brandov	77	66	72
Orasice – Hospozín	41	36	41
Komorní Lhotka – Děhylov	51	43	46

Pozn. Výsledný čas je uveden v minutách

Výsledkem optimalizace adresních míst je devět bodů ze zadaných adresních míst, ty tvoří jednu skupinu, která je schopna pokrýt všechna definovaná kritická místa. Další skupinu se nepodařilo vytvořit z důvodu nesplnění mezní dojezdové doby na jedno kritické místo. Bylo navrženo řešení, jak vybírat nové adresní místo, aby byla pokryta všechna místa kritická. Zároveň byla navržena minimální množina bodů, pokud by místa nebyla předem definována, ta může sloužit k vytvoření úplně nové skupiny.

Dále byla vytvořena funkce automatizující výběr adresního místa, které má vyrazit na výjezd ke kritickému bodu, který vyhlásil pohotovost. Díky tomu, že na zadaný problém neexistuje celistvá funkce, musela být vytvořena pomocí skriptu. Obsahuje řadu volitelných vstupních parametrů, avšak v mnoha směrech je vázána na vstupní data, pro která byla vytvořena. Pro implementaci funkce na jiný problém by bylo potřeba nadefinovat více vstupních parametrů a změnit některé vazby funkce. Tyto potřebné změny úzce souvisí i s grafickým výstupem a vytvořenou funkcí v *Toolboxu*.

Zaznamenaným problémem vstupních dat je volba parametru *search tolerance* pro vstupní bodové vrstvy. Tento parametr určuje, do jaké vzdálenosti budou ještě body neležící přímo na síti vstupovat do analýz. Jak ve funkci *Location – Allocation*, tak i ve funkcích skriptu byla zvolena *search tolerance* 5 000 m. Zde nastává problém zkreslení dojezdových dob u bodů, které leží v blízkosti dálnice. Daný bod je „přichycen“ přímo na silnici a dojezdová doba k tomuto bodu se tak velmi snižuje. Reálně je však doba dojezdu větší z důvodu, že se daný bod většinou nenachází hned u výjezdu z dálnice. K bodu je nutné dopravit se lokálními silnicemi, což zabere více času.

Práce umožnila optimalizaci adresních míst. Dále poskytnutí automatizace řešení, jaké adresní místo poslat na místo kritické, aby se co nejméně narušilo pokrytí sítě. Implementaci tohoto řešení prostřednictvím funkce do *ArcMapu* a grafický výstup řešení, pro urychlení orientace nad výsledky. Výstupy práce lze použít jako návrh možného řešení problému pohotovostí ve společnostech, které tyto pohotovostní služby zajišťují.

Seznam zdrojů

ARCDATA Praha (2016): ArcČR 500, verze 3.3. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500> [cit. 2017-04-18].

BAYER, T. (2008): Algoritmy v digitální kartografii. Karolinum, Praha, 251 s.

BUREŠOVÁ, M. (2009): Umístění logistických center v území, jako problém diskrétní lokace. Diplomová práce. Katedra Ústavu systémového inženýrství a informatiky FES UPce v Pardubicích, Pardubice 61 s.

BEČIČKA, M., ZAJÍČEK, J. (2013): Tutorial „Programování v Pythonu pro ArcGIS 10.0“ pro začátečníky. Dostupné z: <http://geo.fsv.cvut.cz/gdata/2013/pin2/e/dokumentace/dokumentace.pdf> [cit. 2017-04-18].

CORMEN, T. H., STEIN, C., RIVEST, R. L., LEISERSON, C. E. (2001): Introduction to Algorithms. The MIT Press, Cambridge, 1180 s.

Český plynárenský svaz (2013): Technická pravidla TPG 905 01. Základní požadavky na bezpečnost provozu plynárenských zařízení.

ČERNÝ, J. (2010): Základní grafové algoritmy. Dostupné z: <http://kam.mff.cuni.cz/~kuba/ka/ka.pdf> [cit. 2017-04-18].

ČÚZK (2017a): Prohlížečí služba WMS: Přehledové mapy ČR. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_PREHLEDKY/WMSservice.aspx [cit. 2017-04-18].

ČÚZK (2017b): Prohlížečí služba WMS: Ortofoto. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/WMS_ORTOFOTO_PUB/WMSservice.aspx [cit. 2017-04-18].

DEMEL, J. (1988): Grafy. Nakladatelství technické literatury, Praha, 184 s.

ESRI (2016a): Algorithms used by the ArcGIS Network Analyst extension. Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm> [cit. 2017-04-18].

ESRI (2016b): What is the ArcGIS Network Analyst extension? Dostupné z: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/what-is-network-analyst-.htm> [cit. 2017-04-18].

FARAHANI, R. Z., HEKMATFAR, M. (2009): Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies, Physica, Heidelberg, 549 s.

FRIEBELOVÁ, J. (2006): Síťová analýza. Dostupné z: http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/rmp/data/teorie_oa/SITOVA%20ANALYZA.pdf [cit. 2017-04-18].

GOOGLE (2017): Mapy Google. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps> [cit. 2017-04-22].

HALA, M., HRABÍK, T., KUBA, T., SKRÁŠEK, I. (2009): Využití GIS pro optimalizaci sítě výjezdových míst záchranné zdravotnické služby Zlínského kraje. ArcRevue, č. 1, s. 9–10.

HAVRNLANT, L. (2014): Matematika.cz Vektory. Dostupné z: <http://www.matematika.cz/vektory> [cit. 2017-04-18].

HUDEČEK, T. (2008): Model časové dostupnosti individuální automobilové dopravy. Geografie, 113, č. 3, s. 140–153.

HUDEČEK, T., CHURANĚ, R., KUFNER, J. (2011): Dostupnost Prahy při využití silniční dopravy v období 1920–2020. Geografie, 116, č. 3, s. 317–334.

HÝBER, R. (2013): Návrh optimálního rozmístění stanic půjčoven kol v Olomouci. Magisterská práce. Katedra geoinformatiky PřF UP v Olomouci, Olomouc, 58 s.

JIRAVOVÁ, J. (2005): ArcGIS Network Analyst. ArcRevue, č. 3, s. 18.

KUTTELWASCHER, R. (2012): ArcGIS Network Analyst. ArcRevue, č.2, s. 14 – 16.

LORENA, L., PEREIRA, M. (2002): A Lagrangean/surrogate heuristic for the maximal covering location problem using Hillsman's edition, International Journal of Industrial Engineering č.9, s. 57-67.

NEČAS, J. (1987): Grafy a jejich použití. Nakladatelství technické literatury, Praha, 191 s.

NEŠETŘIL, J., MATOUŠEK, J. (1996): Kapitoly z diskrétní matematiky. Matfyzpress, Praha, 344 s.

PIMPLER, E. (2014): Programming ArcGIS 10.1 with Python CookBook. Packt Publishing, Birmingham, 288 s.

SLADKÝ, J. (2009): Síťové analýzy v gis pro složky IZS. Diplomová práce. Katedra matematiky FAV ZCU v Plzni, Plzeň, 67 s.

SEZNAM (2017): Mapy.cz Dostupné z:
<https://mapy.cz/zakladni?x=14.4167000&y=50.0833020&z=11> [cit. 2017-04-22].

VALCHAŘOVÁ, D. (2012): Alokační a lokační analýzy města Olomouce. Diplomová práce. Katedra geoinformatiky Přf UP v Olomouci, Olomouc, 65 s.

ZANDBERGEN, P. A. (2013): Python scripting for ArcGIS. Esri Press, California, 353 s.

Seznam příloh

Příloha č. 1: Automatizace funkce Service Area

Příloha č. 2: Optimalizovaný počet adresních míst

Příloha č. 3: Ideální minimální počet adresních míst

Příloha č. 4: Matice dojezdových dob mezi všemi adresními a kritickými místy

(umístěno na CD)

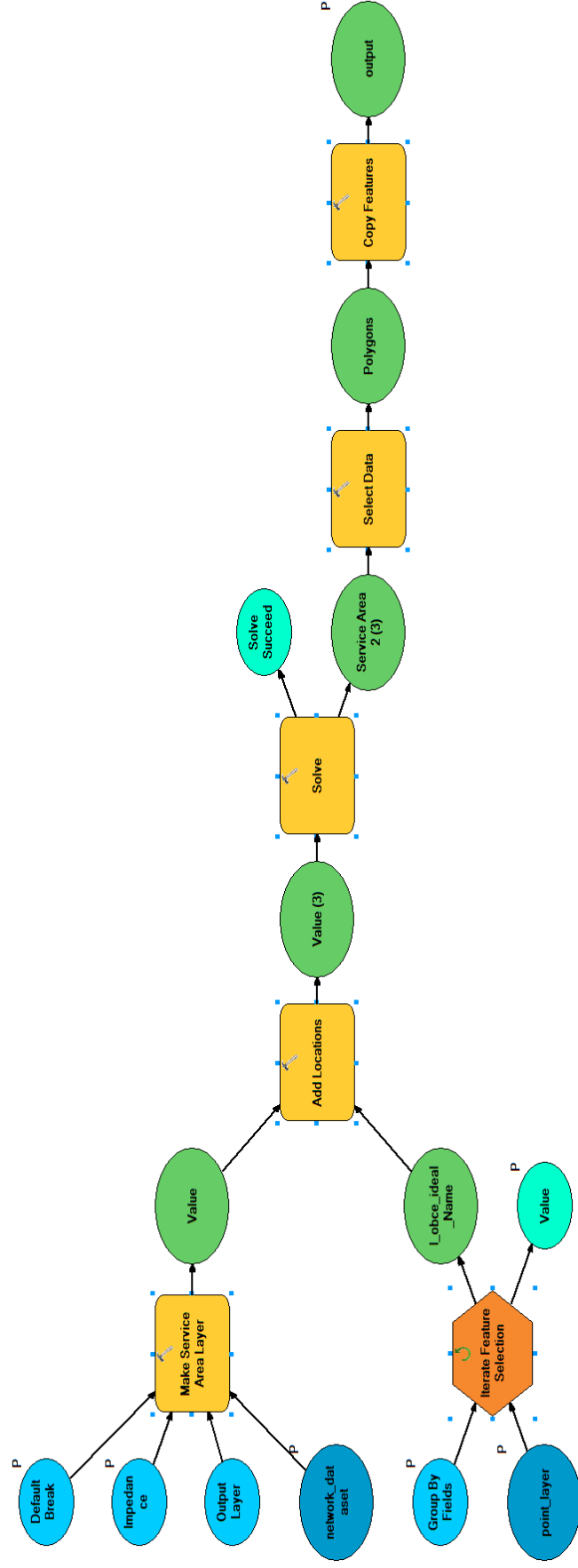
Příloha č. 6: Vytvořená data, sloužící ke vstupu do funkce (umístěno na CD)

Příloha č. 7: Možný výstup funkce, obsahuje i vytvořená data (umístěno na CD)

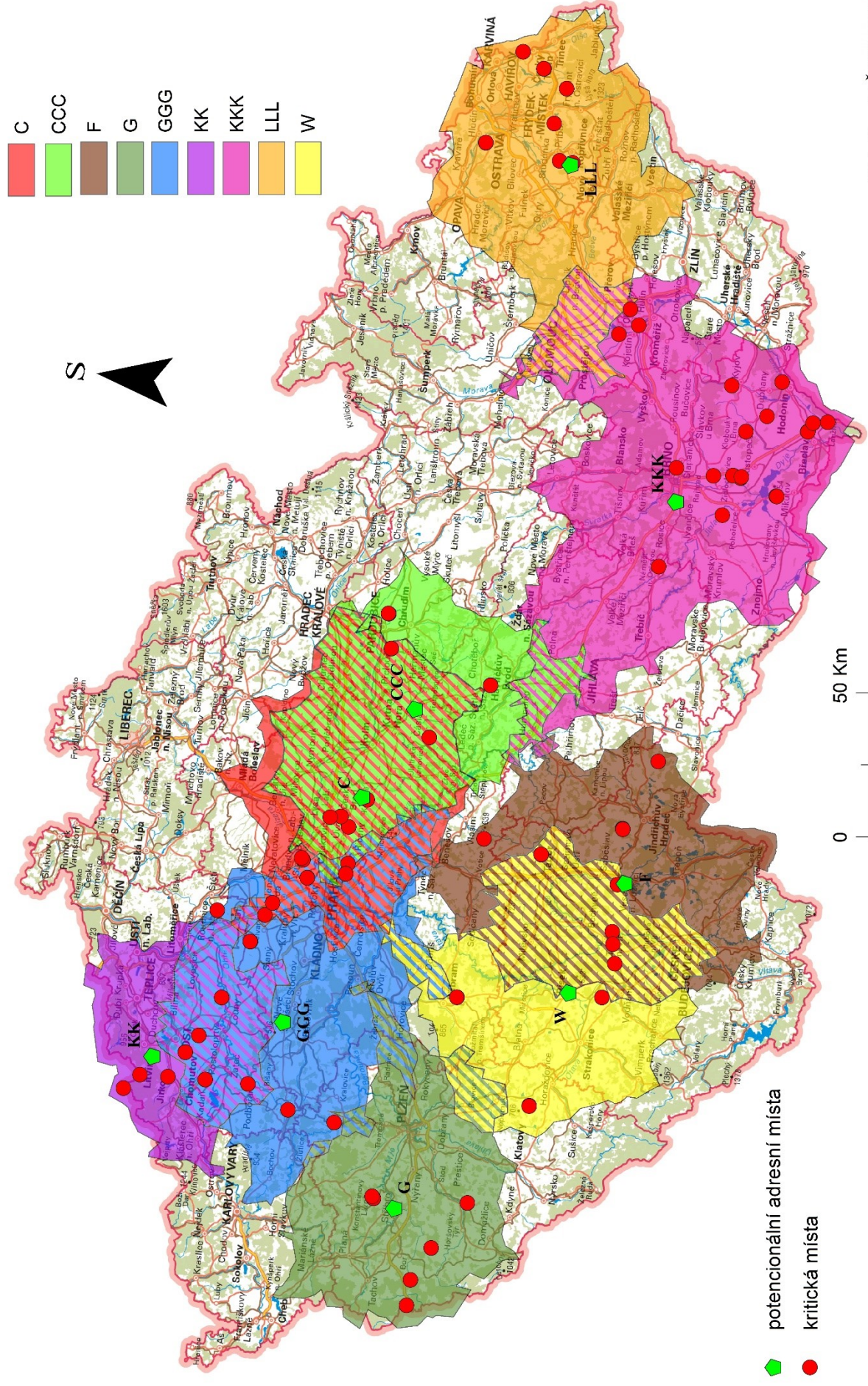
Příloha č. 8: Grafický výstup (umístěno na CD)

Příloha č. 9: Toolbox (umístěno na CD)

PŘÍLOHA Č. 1: AUTOMATIZACE FUNKCE SERVICE AREA



PŘÍLOHA Č. 2 – OPTIMALIZOVANÝ POČET ADRESNÍCH MÍST



PŘÍLOHA Č.3 – IDEÁLNÍ MINIMALNÍ POČET ADRESNÍCH MÍST

